ROBERT P. CREASE
ALFRED SCHARFF GOLDHABER

KUANTUM DÖNEMİ

PLANCK, BOHR, EINSTEIN VE HEISENBERG BELİRSİZLİĞİ SEVMEYİ BİZE NASIL ÖĞRETTİ

İSTANBUL BİLGİ ÜNİVERSİTESİ YAYINLARI

ROBERT P. CREASE

Stony Brook Üniversitesi Felsefe Bölümü'nde profesörüdür. *Physics in Perspective* dergisinin baş editörlerinden biridir ve *Physics World* dergisinde "Critical Point" isimli aylık köşe yazıları yazmaktadır. Londra Fizik Enstitüsü'nün (IOP) ve Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan Amerikan Fizik Topluluğu'nun (APS) üyesidir. Başlıca eserleri arasında şunlar yer almaktadır: *World in the Balance: The Historic Quest for an Absolute System of Measurement*, *The Great Equations: Breakthroughs in Science from Pythagoras to Heisenberg* ve *The Prism and the Pendulum: The Ten Most Beautiful Experiments in Science*. Çeşitli yazıları *The Atlantic Monthly*, *The New York Times*, *The Wall Street Journal*, *Science*, *New Scientist* ve diğer akademik ve popüler yayınlarda yer almıştır.

ALFRED SCHARFF GOLDHABER

Stony Brook Üniversitesi'nde Yang Teorik Fizik Enstitüsü'nde profesördür ve Amerikan Fizik Topluluğu'nun üyesidir. Manyetik monopoller, temel parçacıklar, atom çekirdeği, katı hal fiziği, astrofizik ve kozmoloji alanlarında çalışmalar yapmaktadır. Fizikte belli araştırma konuları ile ilgili çok sayıda değerlendirme makaleleri kaleme almıştır. Robert Crease ile beraber hazırladığı "Kuantum Dönemi" dersinin yanı sıra lisans öğrencileri için "Kuantum Mekâniğinin Fiziksel ve Matematiksel Temelleri" isimli bir ders hazırladı. "Amepere, Faraday ve Temel Fiziğin Nasılları" ve "Radikal Einstein'a Kıyasla Muhafazakâr Einstein" verdiği genel seminerler arasındadır.

İSTANBUL BİLGİ ÜNİVERSİTESİ YAYINLARI

Robert P. Crease - Alfred Scharff Goldhaber
KUANTUM DÖNEMİ
Planck, Bohr, Einstein ve Heisenberg Belirsizliği Sevmeyi Bize Nasıl Öğretti
Çeviren Vural Arı

THE QUANTUM MOMENT
How Planck, Bohr, Einstein, and Heisenberg Taught Us to Love Uncertainty
© W. W. Norton & Company, Inc.

İstanbul Bilgi Üniversitesi Yayınları 566
Bilim ve Teknoloji 3

ISBN 978-605-399-458-9

1. Baskı İstanbul, Ekim 2016

© Bilgi İletişim Grubu Yayıncılık Müzik Yapım ve Haber Ajansı Ltd. Şti.
Yazışma Adresi: İnönü Caddesi, No: 43/A Kuştepe Şişli 34387 İstanbul
Telefon: 0212 311 52 59 - 311 52 62 / Faks: 0212 297 63 14 • Sertifika No: 11237

www.bilgiyay.com
E-posta yayin@bilgiyay.com
Dağıtım dagitim@bilgiyay.com

Yayına Hazırlayan Cem Tüzün
Tasarım Mehmet Ulusel
Dizgi ve Uygulama Maraton Dizgievi • www.dizgievi.com
Düzelti Remzi Abbas
Dizin Beyza Becerikli
Baskı ve Cilt Sena Ofset Ambalaj ve Matbaacılık San. Tic. Ltd. Şti.
Litros Yolu 2. Matbaacılar Sitesi B Blok Kat 6 No: 4 NB 7-9-11 Topkapı İstanbul
Telefon: 0212 613 38 46 / Faks: 0212 613 03 21 • Sertifika No: 12064

İstanbul Bilgi University Library Cataloging-in-Publication Data
A catalog record for this book is available from the Istanbul Bilgi University Library

Crease, Robert P.
Kuantum dönemi: Planck, Bohr, Einstein ve Heisenberg belirsizliği sevmeyi bize nasıl öğretti /
Robert P. Crease, Alfred Scharff Goldhaber; çeviren Vural Arı.
268 pages: 47 illustrations; 16x23 cm.
Includes bibliographical references and index.
ISBN 978-605-399-458-9

1. Quantum theory —Popular works. 2. Physics —Popular works. 3. Quantum theory —Miscellanea
I. Title. II. Goldhaber, Alfred Scharff. III. Arı, Vural.
QC174.123.C7419 2016

Robert P. Crease
Alfred Scharff Goldhaber

KUANTUM DÖNEMİ
Planck, Bohr, Einstein ve Heisenberg Belirsizliği Sevmeyi Bize Nasıl Öğretti

Çeviren
Vural Arı

Düşünceleri ve karakterleriyle
dersimize ve bu kitaba hayat veren
öğrencilerimize...

İçindekiler

vii Teşekkür

1 Giriş

9 BİRİNCİ BÖLÜM Newton Dönemi
- 10 Issac Newton
- 22 Kuantum Pususu
- 25 Büyük Tasarım

29 İKİNCİ BÖLÜM Pikselli Dünya
- 30 Max Planck
- 35 İlk Uluslararası İlgi
- 38 Teselli Kuantumu
- 42 Mac Planck Kuantumu Sunuyor

49 ÜÇÜNCÜ BÖLÜM Kuantum Sıçramaları
- 50 Niels Bohr
- 55 Sıçramalar, Atlamalar ve Seğirmeler
- 56 Artan Semboller
- 60 Niels Bohr, Kuantum Sıçramalarını Atomları Hareket Ettirmek İçin Kullanıyor

63 DÖRDÜNCÜ BÖLÜM Rastgelelik
- 66 Yıkıcı Unsurlar
- 70 Forman Tezi
- 75 Einstein Tanrı'nın Nasıl Zar Attığını Gösteriyor

77 BEŞİNCİ BÖLÜM Kimlik Meselesi: Henüz Düşmemiş Bir Kuantum Ayakkabısı
- 80 Wolfgang Pauli ve Dışlama İlkesi
- 84 Satyendra Nath Bose, Einstein ve Bose-Einstein İstatistiği
- 87 Neden Düşmemiş Ayakkabı?
- 89 Wolfganf Pauli ve Dışlama İlkesi, Satyendra Bose ve Bozonlar

97 ALTINCI BÖLÜM Köpek Balıkları ve Kaplanlar: Şizofreni
- 100 Kibar Fakat Kararlı Çılgınlar
- 106 Heisenberg, Schrödinger ve İkinci Kuantum Bilimsel Devrimi
- 111 İrrasyonel Büyüklük
- 116 Erwin Schrödinger'in Haritası / Werner Heisenberg'in Haritası

121 YEDİNCİ BÖLÜM Belirsizlik
124 Arthur Eddington
126 Bridgman
133 Çok Şekilli Mecazlar
133 Kesin Tespit Edilemezlik
135 Gözlemci Etkisi
137 Sanat ve Beşeri Bilimlerin Özgürleşmesi
138 Tanrı'nın Varlığı
144 Belirsizlik İlkesi

147 SEKİZİNCİ BÖLÜM Kırılmış Gerçeklik: Kübizm ve Tamamlayıcılık
150 Şizofreniyi Resmetmek
154 Karşılama
163 Tamamlayıcılık, Nesnellik ve Çift Yarık Deneyi

167 DOKUZUNCU BÖLÜM Zar Atmak Yok!
167 Asla
170 Muhalif Einstein
171 Gerçeğe Dönüş
172 Grup Yorumu
174 Foton Kutusu Deneyi
176 EPR Makalesi
180 Gece Düşünceleri
181 Fedakârlık
183 John Bell ve Teoremi

189 ONUNCU BÖLÜM Schrödinger'in Kedisi
201 Schrödinger'in Kedisi
205 Sınır Savaşı

209 ON BİRİNCİ BÖLÜM Tavşan Deliği: Paralel Dünyalara Susamak
212 Everett'in Çılgın Düşüncesi
216 Şizofreninin İntikamı
218 Kurgusal Olarak Cazip
222 Cazibe
225 Multievrenler

227 ON İKİNCİ BÖLÜM Fiziği Kurtarmak
230 Kuantum Mistisizmi
237 Neyin Yaygarası?

243 SONUÇ Şimdiki Dönem

251 Dizin

Teşekkür

Teşekkürlerimizi iletmemiz gereken geniş bir listemiz var. Bundan yaklaşık on yıl önce tanıştık. Birbirimizden bağımsız olarak aynı burs için öneri göndermiştik ve bundan dolayı Dekan beraber çalışmamızı talep etmişti. Bu arada Stony Brook'da birinci sınıf öğrencisi olan Maaneli Derakshani, kuantum mekaniğinin felsefesi hakkında ders verecek bir felsefeci ve bir fizikçi bulabilmek umuduyla bölüm koridorlarında dolanıyordu. Sadece ikimiz kendisini ciddiye almıştık. Nasıl bir çalışmanın mantıklı olacağı ve hem felsefe hem de fizik öğrencileri için erişilebilir olacağı konusunda düşünmeye başladık. Felsefe, tarih ve kuantum mekaniği bilimi hakkında çok sayıda kaynağın mevcut olduğunu biliyorduk. Ancak kuantum mekaniğinin genel kültür ve genel kültürün de kuantum mekaniği üzerindeki etkilerini inceleme düşüncesi bize oldukça çekici geldi. Geliştirdiğimiz ders bu umutları fazlasıyla gerçekleştirdi. Küratörlüğünü bilim tarihçisi Mordechai Feingold'un yaptığı ve 2004'te New York Halk Kütüphanesi'nde açılan "Newton Dönemi" isimli bir sergiden ilham alarak dersimize "Kuantum Dönemi" ismini verdik. Bu yenilikçi dersi vermemize izin veren Stony Brook Üniversitesi'ne ve iki hoca tarafından verilen bu dersin akışının yoğun bir müfredata uygun hale getirilmesindeki çabalarından dolayı Üniversite yönetimine de (Felsefe Bölümü'nden Alissa Betz, Fizik Bölümü'nden Pam Burris ve Nathan Leoce-Shappin) teşekkür ederiz.

2006 baharında gerçekleştirilen dersin ilk versiyonunda sadece yetenekli ve meraklı öğrencilere sahip olduğumuzdan dolayı değil aynı zamanda fizikçi Harold Metcalf, felsefeci Patrick Grim ve Lee Miller ve de biyokimyacı

Paul Bingham gibi kıdemli hocaların da katılımda bulunmuş olmasından dolayı şanslıydık. Her sene Stony Brook'un Fizik Bölümü'ne ait Lazer Eğitim Merkezi'ne Metcalf ve merkezin yöneticisi John Noe liderliğinde geziler düzenledik. Bunun yanı sıra hem şahsen hem de Skype üzerinden katılımda bulunan kendi alanında önde gelen misafir konuşmacılarımız oldu. Paul Forman, David Kaiser, Nobuko Miyamoto ve Gino Serge bunlardan birkaçıdır. Konuşmacılar bu zengin konu hakkında hem öğrencilerimizin hem de kendimizin bakış açısına çok katkıda bulundu. 2012 yazında birimiz (Crease) dersin minyatür bir versiyonunu Rusya'nın St. Petersburg kentinde bulunan Stony Brook NY-St. Petersburg Dil Bilimi ve Kültür Enstitüsü'nde (NYI) verdi. Çabalarından dolayı Enstitü'nün müdürlerinden Stony Brook Profesörü John Frederick Bailyn'e ve dersimize katılan ve bizlere Rusların bakış açısını sunan çok sayıdaki öğrenciye minnettarız. 2012'de birimiz (Goldhaber), 25-29 Temmuz tarihlerinde Tawson Üniversitesi'nde Sanat, Müzik ve Bilimde Matematiksel İlişkiler konulu konferansta dersimizle alakalı bir konuşma yaptı. Diğerimiz de (Crease) 2012'nin Mart ayında Atlanta'da gerçekleştirilen 10. Gathering for Gardner (G4G10) konferansında ve ayrıca Eylül 2012'de Stony Brook Beşeri Bilimler Enstitüsü'nde dersimizle ilgili konuşmalar yaptı.

Yazarlardan biri (Crease), Fizik Enstitüsü tarafından yayınlanan ve son derece aydınlatıcı ve örnek bir dergi olan *Physical World* dergisi için "Critical Point" isimli aylık köşe yazıları yazmaktadır. Editör Martin Durrani derginin yazmak için oldukça zahmetli ancak okumak için oldukça keyifli olmasını sağlamaktadır. Sadece kendisine değil aynı zamanda köşe yazılarına yanıt vermiş olan yüzlerce okura da minnet borçluyuz. Bu kitapta yer alan malzemelerin bazıları ilk defa bu köşe yazılarında yer almıştır; Birinci Bölüm ("Kuantum Dönemi", Mart 2013), Üçüncü Bölüm ("Meyvelüperi", Şubat 2012), Beşinci Bölüm ("Kimlik Fiziği" Ocak 2013), Dokuzuncu Bölüm ("Olamaz Fiziği", Temmuz 2007), Onuncu Bölüm ("Asla Ölmeyen Kedi", Nisan 2013) ve Birinci Bölüm ("Başka Dünyalardan Hikâyeler", Aralık 2011). Diğer bazı malzemeler ise şu köşe yazılarından geliştirilmiştir: Aralık 2001 ("Bilirlikten Emin Olmak"), Mayıs 2008 ("Bohr Paradoksu") ve Eylül 2008 ("Kültür Kuantumu"). Bu malzemeleri revize edip kitaba uyarlama konusunda verilmiş olan izin için teşekkür ederiz.

Kitabın ilk versiyonlarını okuyan ve metinleri birbirine uygun hale getirmek için şekillendirmemize sabırla yardım eden Norton'daki editörümüz Maria Guarnascelli'ye borçluyuz. Metinlerin yönlendirilmesinde emeği geçen Mitchell Kohels, yönetici editör Nancy Palmquist ve üretim müdürü Devon

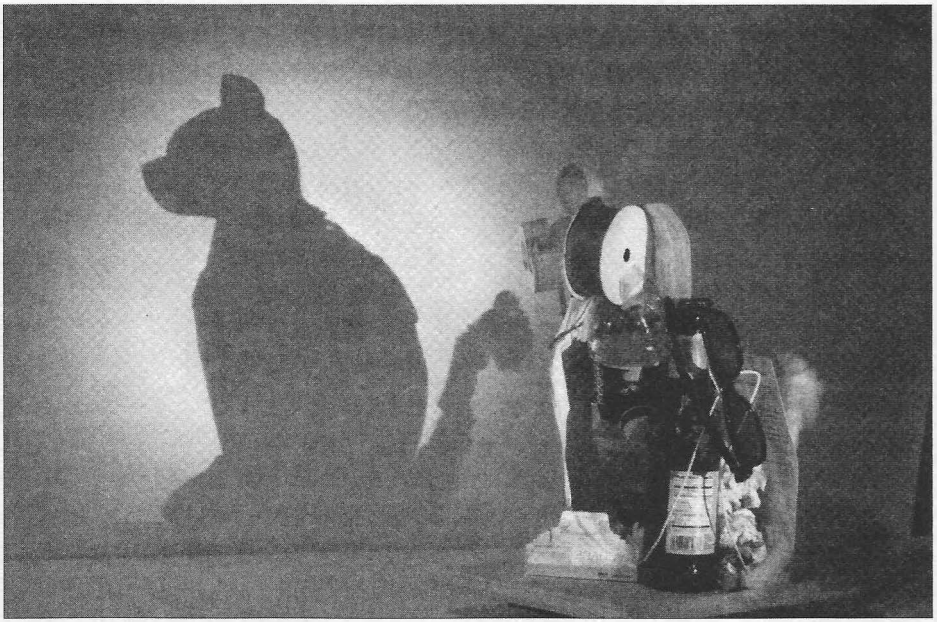
Zahn ve önerileri ile yazıların gelişmesine büyük katkısı geçmiş olan Julie Sherrier ve Carol Rose borçlu olduklarımız arasındadır.

Will Grayson, Will Grayson romanında Will ve Jane arasında Schrödinger'in kedisi hakkındaki geçen uzun ve ilginç konuşmayı kullanmamıza izin verdikleri için John Green ve David Levithan'a da borçluyuz. Percy Williams Bridgman koleksiyonunu kullandığımız Harvard Üniversitesi Kütüphanesi'ne ve çokça kullandığımız Columbia Üniversitesi ve Stony Brook Üniversitesi Kütüphanesi'ne minnettarız. Katkılarından dolayı Edward C. Casey, Patrick Grim, George W. Hart, Don Ihde, John H. Marburger III, Eduardo Mendieta, Hal Metcalf, Lee Miller, Robert C. Scharff ve Marshall Spector'a minnet borçluyuz. Pauli fotoğrafını kullanmamıza ve bu fotoğrafın nasıl ortaya çıktığına dair kendisinden alıntı yapmamıza izin verdiği için Roy Glauber'a çok teşekkür ederiz. Kitapta yer alan diyagramların çoğunu Teorik Fizik Enstitüsü Sistem Yöneticisi C. N. Yang hazırladı. Yaratıcı karikatürlerini cömertçe paylaştığı için her zaman sürprizlerle dolu olan xkcd'ye teşekkür ederiz. Crease, pek çok taslak metnini okuyup anlaşılabilirliğine ve içeriğine önemli katkıda bulunmuş olan ve kitabın yazımından önceki köşe yazılarına da katkıda bulunmuş olan eşi Stephanie'nin sevgisi ve desteği olmadan bu eseri yazamazdı. Ayrıca bazı çizimlerin üzerinde çalışmış olan oğlu Alexander ve kızı India'ya sevgi ve desteklerinden dolayı teşekkür eder. Goldhaber, eşi Suzan Goldhaber'a sevgisi, teşviki ve tavsiyeleri için teşekkür ederiz. Çocukları David Goldhaber, Gordon ve Sara Goldhaber-Fiebert ve ailelerine, bu kitabın yazımından önce ve yazımı sırasında yaşamı bu kadar özel ve değerli kıldıkları için teşekkür eder. Buna ek olarak David metin hakkında değerli eleştirilerde bulunmuştur. Son olarak, verdiğimiz her dersin yeni ve taze olmasını sağlayacak şekilde oldukça farklı anlayışlar, yöntemler ve güzergâhlarda 6 yıl boyunca ilerlemiş olmaktan dolayı birbirimize teşekkür ederiz.

Giriş

Yakın zaman önce sınıfta oturmuş öğrencilerimizin sunduğu ve orijinal bir çalışma olması zorunlu olan bitirme ödevi sunumlarını dinliyorduk. Öğrencilerden ikisi kısa bir oyun sahnelerken, birisi bir hip-hop şarkısı seslendirdi ve diğerleri de çeşitli alanlarda hazırlanmış sanat çalışmaları sundu. Şizofreni hastalığı tedavisi gören bir öğrenci, biraz tereddütle fakat cesurca böyle bir hastalıktan muzdarip olmanın nasıl bir şey olduğunu, kuantum mekaniğinin superpoze olaylarının dilini kullanarak izah edip şamatalı ve gürültülü sınıfı bir anda ölü sessizliğine getirdi. Bir sonraki sunumda ise güvenlik gözlüğü takmış iki bilim öğrencisi, bir çeşit süper iletken olan özel bir mıknatısın üstüne sıvı nitrojen dökerek Abrikosov-Meissner etkisini açıklayan bir kuantum levitasyonu deneyi gerçekleştirdi. O arada diğer öğrenciler çeşitli kuantum konuları ile ilgili "kuantum birası" ve "kuantum jazz" gibi başlıklar taşıyan web sayfalarından buldukları şakaları yapıyordu. Son proje bir makine mühendisliği öğrencisinden geldi. Rastgele topladığını söylediği döküntülerden (pepsi şişeleri, gözlükler, yapıştırma bandı, ping-pong topu gibi) oluşan bir yığın getirmişti. Bu yığının üzerine belli bir açıdan ışık tutulduğunda duvara bir kedi görüntüsünün yansıdığını göstermekle bütün sınıfı şaşırttı.

Bu projeler, altı yıldır beraber verdiğimiz "Kuantum Dönemi" isimli dersimizin bitirme ödevleriydi. Fizik ve felsefe öğrencileri için seçmeli olan bu ders farklı alanlardan da pek çok öğrenci çekiyor. Bu dersi alan öğrencilerden beşeri bilimler okuyanların ilgisini "kuantum" kelimesinin ne anlama geldiği çekiyor. Dersi alan bilim öğrencileri ise bilimsel bir terimin insan davranışına



Kedi, Juan Mesa.

nasıl uygulanabileceğini anlamak istiyor. Diğer öğrenciler ise ya dikkat çeken ders başlığından dolayı ya da yoğun ders takvimlerine uygun düştüğü ve belli başka ders gereksinimlerini karşıladığı için geliyorlar.

Verdiğimiz ders, kuantumun kültürel etkisi ile ilgili bir derstir. Enerjinin sonlu paketler halinde var olduğu ve sonsuz küçüğe kadar bölünemeyeceği gerçeğine isim olan kuantum terimi, 1900'lü yıllarda fizik biliminin uzak bir köşesinde, ışığın nasıl salındığı ve yutulduğu ile ilgili kafa karıştırıcı meseleleri izah etme çabası ile ortaya çıkmıştır. Bu çabayı iki kuantum devrimi takip etti. Birincisi, bilim insanlarının toplumun dikkatini çekmeden bu teoriyi tartıştığı ve geliştirdiği 1900-1925 yılları arasında gerçekleşti. Ardından bu teori, kuantum mekaniği adı ile anılan ve ortaya koyduğu tuhaf sonuçları bu defa toplumun merakını cezp edip tartışma konusu haline geldiği 1925-27'de ikinci bir devrim ile yeniden şekil aldı. Seksen yıldan fazla bir süre sonra bugün dahi insanlık şaşırtıcı, düşsel ve hatta şok edici bulduğu bu ikinci kuantum devrimi ile ne yapacağı konusunda halen emin değil. Hemen her ay kuantumla ilgili yeni kitaplar çıkıyor. Kuantum terimi günlük yaşantımızda oyunlarda, şiirlerde, resimlerde, romanlarda, müzikte, felsefede, çok sayıda

şirket isminde, psikoloji ve nörobilimin popüler bilim yaklaşımlarında kullanılıyor. Heisenberg'in belirsizlik ilkesi, Schrödinger'in kedisi, paralel evrenler ve diğer kuantum mekaniği kavramları ve simgeleri tişörtlerin üzerinde, kahve fincanlarında, karikatürlerde, romanlarda, şiirlerde ve filmlerde karşımıza çıkıyor. Kültürel mimlerin bir vitrini niteliğinde olan failblog.org sitesinde kullanılıyor. Heisenberg'in ismi, *Breaking Bad* isimli Amerikan televizyon dizisinde, yasadışı bir uyuşturucu olan kristal metamfetamin üretip satan lise kimya öğretmeninin takma adı olarak kullanılıyor. Mart 2012'de *New York Times*'ta yayımlanan bir yorum makalesinde "artık kuantum politika çağına girmiş bulunuyoruz ve ilk kuantum politikacımız da Mitt Romney'dir" denilerek başkanlığa aday olan Mitt Romney'in kişiliğini ve kampanyasını tanımlamak için kuantum terminolojisinin en doğru yol olduğu tartışılmıştı.[1] Kasım 2012 seçimlerinde Romney'i mağlup eden Barak Obama verdiği röportajlarda, danışmanlarından nasıl rehberlik istediğini izah etmek için Heisenberg'in ilkesini hatırlatmıştı. Dersimizi alan öğrencilere, 21. yüzyılda insan âleminde kuantumun çılgın, gizemli ve yaratıcı bir güç ile donanmış bir metafor olarak neden halen karşımıza çıktığını soruyoruz?

Okumalarımız sömestrden sömestre değişiyor ancak tarih, psikoloji ve sosyoloji çalışmalarını, çok sayıda tiyatral oyunu (Michael Frayn'ın Kopenhag oyunu dâhil olmak üzere) ve pek çok romanı da (Neal Stephenson'un *Anathem* romanı gibi) içeriyor. Kuantum düşüncesinin nasıl yeni fikirlere ve imgelere (belirsizlik ilkesi, tamamlayıcılık ilkesi, Schrödinger'in kedisi, paralel evrenler gibi) kaynak olduğuna dair alt yapı bilgisi veriyoruz. Kuantum dilinin ve imgelerinin nasıl kullanıldığı ve nasıl suiistimal edildiği üzerinde öğrencilerimizin dikkatlice düşünmesini istiyoruz. "Bu hikâyeyi nasıl anlayabilirsin: Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi ve Vietnam Savaşı Literatürü" başlığını taşıyan makaledeki bu referans gazeteciliğe nasıl bir anlayış katıyor? "*Another Earth*/ *Başka Bir Dünya*" ve "*Rabbit Hole*/*Tavşan Deliği*" gibi filmlerde paralel dünyalar kavramının kullanılması, zekice geliştirilmiş yarı bilimsel bir olay döngüsü müdür yoksa sadece dikkat dağıtan bir süsleme midir?

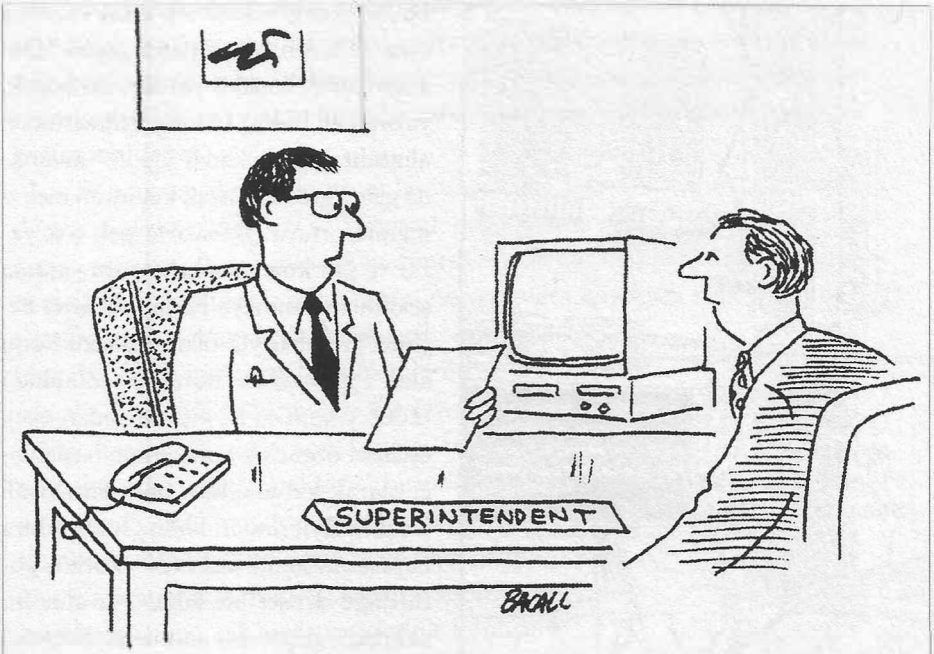
Öğrencilerimizin bitirme projesi, kuantumdan ilhamla tek başına veya grup halinde hazırlayacakları özgün çalışmalar içeriyor. Yukarıda bahsettiğimizin dışında şarkı yazanlar, multimedya sunumları, dekore edilmiş kıyafetler ve kuantum saçmalıklarını işleyen sanat performansları hazırlayanlar oldu. Bir defasında öğrenciler, kuantum mekaniğinin anlamını öğrenmeye çalı-

1 David Javerbaum, "A Quantum Theory of Mitt Romney", *The New York Times*, 31 Mart 2012, s. SR4.

şan bir ikinci sınıf fizik öğrencisiyle ilgili (yine ikinci sınıf fizik öğrencisinin canlandırdığı) bir video hazırladılar. Bu öğrenci iyi bir öğretmen bulabileceğini umarak bir gün Stony Brook Üniversitesi'nin Fizik Yardım Odası'na (gerçekten böyle bir yer var!) gidiyor. O sırada bir İngilizce öğrencisi (gerçek bir İngilizce öğrencisi tarafından canlandırılan) acele ile gelip:

> İNGİLİZCE ÖĞRENCİSİ: Tanrı'ya şükür buradasın! Birine söylemem gerek bunu! Az önce kuantum mekaniği ile ilgili bir makale okudum. İnanamayacaksın buna. Newton ile her şey kesin belirli idi, ancak şimdi kuantum mekaniği ile artık hiçbir şey kesin belirli değil! Heisenberg'in belirsizlik prensibi denen bir şey var. Yani demek istediğim, şu an dışarı çıkmak isteyebilirim ama aslında dışarısı diye bir şey dahi olmayabilir! Yurt odamdan çıktığımda bugün dışarısı güneşliydi, ama şimdi (şemsiyesini göstererek) yağmur yağıyor olması muhtemel.
>
> FİZİK ÖĞRENCİSİ: *bıkkın bir ifadeyle*, Güzel bir gün var dışarıda, yemin ederim.
>
> İNGİLİZCE ÖĞRENCİSİ: Her şey belirsiz artık. Newton ile her şey iyi idi ama artık iyi değil. Ben bir parçacık mıyım yoksa bir dalga mı? Sen, gerçek misin?
>
> FİZİK ÖĞRENCİSİ: *(rahatsız olmuş bir ifadeyle)* Sen iyisin, ben iyiyim, hamsterin de iyi, öğrenci yurdun da iyi.
>
> İNGİLİZCE ÖĞRENCİSİ: *(aniden gözlerini açarak)* Hamsterim! Öğrenci yurdum! ... Hamsterimin şu an ne yapmakta olduğunu dahi bilemem... Ortalık tamamen karıştı!
>
> FİZİK ÖĞRENCİSİ: *(defterine "NEDEN BEN?" diye yazar ve ayağa kalkıp odayı terk eder.)*

Birimiz fizikçiyiz diğerimiz ise felsefeci. Fizikçi olanımız (Goldhaber), madde ve enerjinin günümüzde oldukça tamamlanmış ve iyi anlaşılmış teorisi olan ve atomlar ölçeğinde enerjinin sonlu büyükler halinde var olduğu keşfine dayanan kuantum mekaniğinin temelleri üzerine bir giriş dersi veriyor. Bu dikkat çekici teorinin günümüze kadar yanlış olduğu gösterilmiş bir öngörüsü olmamıştır. Felsefeci olanımız (Crease) bu teorinin uzay, zaman, nedensellik ve nesnellik kavramları üzerindeki etki ve sonuçlarını inceleyen dersler veriyor. Bu derslerimiz, akademik ve popüler dilde kuantuma atıfta bulunan ifadelerin bazen sadece dikkat çekmek veya pırıltı katmak amaçlı cafcaflı kelimeler bazen ise makul fikirler formunda ne kadar çok kullanıl-

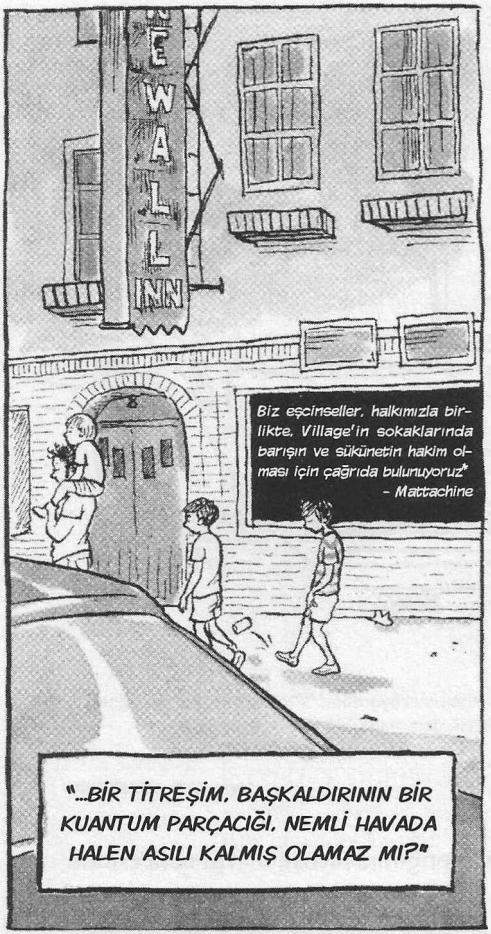


Okulunuzun sunduğu genişletilmiş ders programını inceliyordum. "Profesyonel güreş çağında kuantum mekaniğinin şiir sanatı" isimli ders bana biraz yapmacık geldi.

www.cartonstock.com

makta olduğu hakkında kendi aramızda yaptığımız tartışmaların neticesinde ortaya çıkmıştır.

İlk başlarda kuantumun kültürel etkisinin büyük oranda önemsiz olduğunu ve çoğunlukla saf insanları etkilemek için şarlatanların kullandığı terimler ve imgelerle ve bilimin kültürel otoritesini kendine mâl etmeye çalışan bir miktar bilim okur-yazarlığı olan sanatçılarla karşılaşacağımızı düşündük. Gerçekten de kuantum dilinin ve imgelerinin çoğu zaman esprili, kaçık, gösterişçi ve çıkar amaçlı kullanıldığını gördük. Ancak bunun yanı sıra kuantumun, insanlar ve dünya hakkında önemli yeni terimler ve düşünme yöntemleri sunduğunu da gördük. Kuantum dilinin ve imgelerinin dünyamıza ne denli değişik şekillerde yayılmış olduğunu ürkütücü şekilde keşfettik. Kuantum kelimesi ("ne kadar" ifadesinin Latince karşılığı) ve onun çoğul hali olan kuanta, bu kelimenin kökeninden yola çıkılarak geleneksel şekillerde kullanılmaya devam ediyor. Bir örnek, kuantum mekaniğinden çok önce Papa 9. Pius tarafından 1864'te



Alison Bechdel, *Eğlenceli Ev: Trajikomik bir Aile*.

birçok yere gönderilmek üzere yazılmış olan ve halen çokça bahsi geçen "Quanta Cura" başlıklı yazıdır. Bu başlık, yazının ilk birkaç Latince kelimesinden alıntıdır ve "Ne kadar ilgi ile" anlamına gelmektedir. Ancak kuantum mekaniğinin ortaya çıkmasıyla pek çok yazar ve şair kuantum kelimesini yaratıcı şekilde kullanmaya başladı. Alison Bechdel'in babasıyla olan ilişkisini konu alan *Eğlenceli Ev* isimli anı kitabında (2006 yılının en iyi kitaplarından biri), eşcinsel özgürlük hareketinin başlangıcı olarak kabul edilen ünlü Stonewall sokak olaylarından birkaç hafta sonra babasının kendisini New York'a götürdüğü dehşet bir sahne yer alır. Bu sahnede geçen bir cümlede Bechdel "bir titreşim, başkaldırının bir kuantum parçacığı, nemli havada halen asılı kalmış olamaz mı?" diye yazmıştır.[2]

9. Pius ve Bechdel'in ifadeleri ne tür tarihsel ve dilbilimsel bir ilişki ile bağlı olabilir? Sanat, edebiyat ve felsefenin bu şekilde fiziğin dilini kullanması nasıl mümkün oluyor? Bu dil, sosyal alanda etkisini gösterip kafa yapımızı ve bakış açımızı değiştiriyor mu? Öbür yandan, genel kültürün bakış açıları kuantum mekaniğinin gelişimini de etkiliyor olabilir mi? Bir yanda kuantum fiziği ve öbür yanda sanat ve genel kültürdeki gelişmelerin arasında bir etkileşim var olabilir mi? Günümüzde kesin kabul gören ve bir asrı aşkın bir zaman önce bilim insanları tarafından keşfedilmiş olan kuantum mekaniği neden her yeni nesil yazar ve sanatçı tarafından sanki yeni bir keşifmiş gibi muamele görüyor?

(*) Stonewall Inn'e polisin yaptığı bir baskının ardından, eşcinsellere ve cinsel azınlıklara yapılan baskılara karşı direniş ve eylemlerin başladığı Stonewall'dan bir çağrı. - e.n.

2 Alison Bechdel, *Fun Home: A Family Tragicomic*, Houghton Mifflin, New York, 2006, s. 104.

Kuantum mekaniğini yorumlamanın bir çeşit hermenetik Rorşak testi gibi olduğunu keşfettik. Bu testte neden bazılarının kuantum mekaniğini doğu mistisizmi ile birleştirirken diğerlerinin ise onun var oluş nedenini bu teorinin keşfedildiği zamanın koşullarında etkin olan sosyal endişelere bağladığını öğreniyoruz.

Kuantum mekaniğinin anlamını çözme meselesi (aşina olduğumuz dünya ve onun meseleleri ile kuantum mekaniğinin nasıl bir bağ içinde olduğunu çözmek) 20. yüzyılın erken dönemlerinde var olan en büyük entelektüel meselelerden biriydi. Bilim insanı olmayanlara kuantum mekaniğinin matematiğini ve fiziğini izah etmek belki imkânsız olsa da, onun kavramsal problemlerini ve bilmecelerini örneklendirmek ve bu örneklendirmeler sayesinde yazarların ve sanatçıların kuantum mekaniği ve gerçek dünya arasında kurmaya çalıştığı bağları takip etmek mümkündür. Kuantum mekaniğinin ortaya çıkış hikâyesinin kısa bir özetini kullanarak, ona ait terimlerin ve imgelerin sanat, edebiyat ve günlük konuşma dilinde nasıl ortaya çıktığını kendi içinde izah edebiliriz.

Bu kitap, birbiri ile bağıntılı bir dizi kısa hikâyenin birleşiminden oluşan bir anlatı şeklinde gelişiyor. Her bir bölümün sonunda ve bir sonrakinin başında, bazı teknik detayları veren ve kitabın ana metninde ele almadığımız diğer ilgili konuları kapsayan ara bölümler sunulacaktır. Bazı okurlar bu kısımları atlamayı tercih edebilirler ve böyle yapmakla kitabın ana akışından kopmuş olmazlar.



Xkcd.com

BİRİNCİ BÖLÜM

Newton Dönemi

"Belki-Ölü Kedileri kesinlikle seviyor gibiyim" diyorum.
"Evet, o kadar kötü değiller. Biraz sözde-düşünseller ama hey, hangimiz değiliz ki?"
"Sanırım gruplarının adı, hani şu fizikçi var ya, ona atıfta bulunuyor" diyorum. Hatta eminim. Wikipedi'ye baktım.
"Evet" dedi. "Schrödinger. Ancak grup ismi seçimi tamamen başarısız. Çünkü Schrödinger, kuantum fiziğinde bir paradoks ortaya atmakla çok ün yapmış biri. Belli koşullar altında gözlenmeyen bir kedi, belki-ölü değil, fakat hem ölü hem de diridir."

– Will Grayson, Will Grayson

Avusturyalı fizikçi Erwin Schrödinger, günümüzde artık çok meşhur hale gelmiş olan kedi örneklemesini, 1935 yılında meslektaşlarının kuantum mekaniğini derinlemesine düşünmediklerini göstermek için biraz şakayla karışık halde öne sürmüştü. Kedisinin günümüzde popüler kültüre bu denli sağlam bir şekilde kazınacağını, hikâyelerde ve karikatürlerde rol alacağını, kahve bardaklarına ve tişörtlere resmedileceğini hayal dahi edemezdi. Bunun yakın bir örneğini, John Green ve David Levithan (2010) tarafından kaleme alınmış bir gençlik romanı olan *Will Grayson, Will Grayson*'da görüyoruz. Bu romanda Will, kendisine karşı ifade edilmemiş karışık duygular beslediği Jane adında bir kıza Schrödinger'in kedisinden bahsediyor. Jane, ünlü Avusturyalı fizikçinin fikir deneyini anlatıyor ve ardından hemen ekliyor: "Schrödinger kedilerin öldürülmesini tasvip etmiyordu elbette .. Sa-

dece bir kedinin aynı anda hem ölü hem de diri olmasının biraz imkânsız olduğunu söylüyordu."

Will bir süre bunun üzerinde düşündü. Kendi karışık duygularını aklına getirip (Jane'e karşı gerçekten yakınlık hissediyordu, fakat onun ilk öpücük teklifini reddetmişti), bir şeyin aynı anda hem gerçek olması hem de gerçek olmaması düşüncesini hiç de imkânsız bir şey olarak görmüyordu. "Yalıtılmış bir kutunun içinde sakladığımız her şey, kutuyu açana kadar hem ölüdür hem de diridir" dedi kendi kendine. "Gözlenmemiş olan hem oradadır hem de değildir."[1]

Schrödinger'in kedisi imgesinin farklı bir kullanımı, Ryan Boudinot'un *Öbür Dünyanın Planları* isimli kıyamet bilim-kurgu romanında karşımıza çıkıyor. Romandaki Abby Fogg isimli kahraman, başka bir gerçekliğe sızmak için programlandıktan sonra (kendisi farkında olmadan) hem ölü hem de diri formda kendini gösteriyor. Bir gün bir morgda, ürkütücü bir şekilde kendisine ait bire bir aynı olan iki adet çıplak cesede gözü ilişiyor. "Senin benliğin, Abby, bir süperpozisyona girdi" diyor orada bulunan adli tıp yöneticisi. "Bu, sanki aynı anda hem ölü hem de diriymişsin gibi bir durum ve bu eş anlı durum kendi kendini çoğaltabilen ve böylece kendi ölü halinin birden fazla kesitinin var olduğu bir durum. Ve sana söyleyeyim, bu durum otopsi yapmayı gerçekten oldukça zorlaştırıyor."[2]

Schrödinger'in kedisi, popüler kültürde kendini gösteren kuantum mekaniğine ait pek çok terim ve imgeden biridir. Bunlar bazen şakacı ve alaycı formda iken, başka zamanlarda ise insanların dünyaya ve birbirlerine nasıl baktıklarına dair yeni perspektifler sunan ciddi bir formda karşımıza çıkar.

Işığın nasıl salındığı ve yutulduğu ile ilgili fizik biliminin ırak bir köşesinden gelmiş olan bu terim ve imgelerin nasıl bu denli büyük bir kültürel etki aktarabildiğini anlamak için öncelikle üç asırdan fazla zaman önce Issac Newton'un çalışmalarından gelen kuantumun ortaya çıktığı bilimsel çatıyı anlamamız gerekiyor.

ISSAC NEWTON

2004 yılında New York halk kütüphanesi kapsamı, içeriği ve konumu bakımından son derece kayda değer olan bir sergi açtı. "Newton Dönemi: Issac Newton ve Modern Kültürün Ortaya Çıkışı" isimli sergi, Manhattan'ın merkezinde 5. bulvar ve 42. caddede bulunan kütüphanenin ana şubesindeydi.

1 John Green ve David Levithan, *Will Grayson, Will Grayson*, Dutton, New York, 2010, s. 82-83.
2 Ryan Boudinot, *Blueprints of the Afterlife*, Groove Press, New York, 2012.

Ziyaretçiler, ünlü iki aslan heykelinin (Sabır takma isimli aslan solunuzda, Metanet takma isimli aslan ise sağınızda kalır) arasından geçip, mermer merdivenlerden çıkıp, dev kolonları takip ederek Beaux-Sanat binasına giriyordu. İşaretler sizi muhteşem ana sergi salonuna getiriyordu. Çoğu zaman tekdüze ve sıkıcı dokümanlardan ve çizimlerden oluşan kütüphane sergilerinin bulunduğu salonda bu defa Issac Newton'a (1642-1747) ait devasa kültürel mirası gösteren bir dizi muhteşem eser bulunuyordu.

Eserler arasında küreler, Güneş Sistemi'nin minyatür modelleri, teleskoplar, Newton'a ve onun takipçilerine ait büstler ve heykeller, Newton'un yaşamından sahneleri yansıtan resimler, Newton'a ve onun çalışmalarına ait Hogarth ve William Blake tarafından yapılmış portreler bulunuyordu. Sergide yer alan bir eser, şair Alexander Pope'un ünlü bir kuplesine ilham olmuştu.

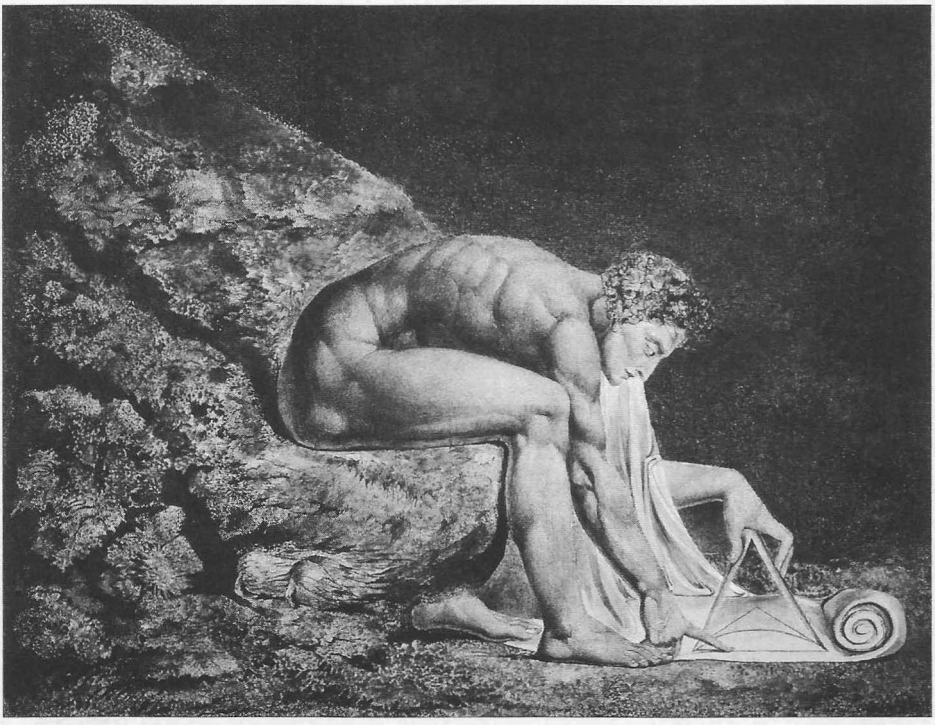
> Doğa ve doğanın yasaları, karanlıkta saklandı,
> Tanrı "Newton olsun!" dedi ve her şey aydınlandı.

Diğer eserler, Newton'a ve onun çalışmalarına övgüden ziyade eleştirel yaklaşımları içeriyordu. William Blake'in Newton portresi, onu eğilmiş, hatta tamamen önce bükülmüş halde resmederken, ünlü bilim adamını elinde bir pergelle önündeki kâğıda odaklanmış bir şeyler çiziyorken içinde bulunduğu güzel doğa denizine arkasını dönmüş olarak göstermektedir. Blake, Newton'un başarılarına saygı duymuş ancak onun mekanik dünya görüşünü ve bu dünya görüsünden doğmuş olan makineleşmeyi eleştirmiştir. Blake'in bu başkaldırısı onun mottosunda kendini göstermektedir: "Sanat, yaşamın ağacıdır. Bilim, ölümün ağacıdır."

Sergide, Newton'un şaheseri olan *Principia* kitabının ilk baskısına ait bir kopya da bulunuyordu. Amerika'da ilk kez sergilenen bu kitap, bir sonraki baskı için Newton'un kendi el yazısı ile yaptığı düzeltmeleri içeriyordu.

Sergide ayrıca *Principia'nın* yabancı çevirileri, bayan okurlar için hazırlanmış bir özet versiyonu ve Newton bilimini anlatan *Tom Teleskop* adında bir çocuk kitabı dizisi de bulunuyordu. Hemen ileride ışık, kütle çekimi, yörüngeler, spektrum, ölçü ve düzenin kuralları ve diğer Newton bilimi temalarından ilhamla yapılmış resimler bulunuyordu.

Bu sergi, dünya görüşümüzde Newton'un çalışmalarından doğmuş olan büyük devrimi sergiliyordu. Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü tarihçisi Mordechai Feingold, sergi kataloğunda "Aydınlanma ve devrim çağı, bir



Newton - **William Blake, 1795-1805 (Tate, London).**

Newton dönemi olarak görülebilir. Newton biliminden gelen düşüncelerin Avrupa kültürüne bütün formlarda yayıldığı bir dönem olarak gösterilebilir" diye yazmıştı.[3]

Newton'un bilimsel çalışmaları sanatı, edebiyatı, felsefeyi, politikayı ve dini, onun döneminde yaşamış olan bütün sanatçılar, yazarlar, felsefeciler, politikacılar ve teologlar kadar etkilemiştir. Bunun nedeni, kafa karışıklığı ve endişenin hâkim olduğu bir dönemde Newton'un çalışmalarının açıklık ve akılcılık getirmiş olmasidir.

1600'lü yıllarda Avrupa terör ve çalkantılar ile doluydu. O asırda hemen her sene Avrupa'nın bir yerinde savaş yaşanmıştı. 1642 ve 1651 yılları arasında İngiltere'de üç ayrı iç savaş oldu. İnsanlar dünyanın, gizli güçler ve anlaşılmaz olaylar tarafından yönlendirildiğine ve gizemli bir şekilde işlediğine inanıyordu. İlahi yazılar zamanın bir başlangıcının olduğunu ve bir sonu-

3 Mordechai Feingold, *The Newtonian Moment: Isaac Newton and the Making of Modern Culture*, Oxford University Press, New York, 2004, s. xi.

nun olacağını söylerken anı açıklamaya yardımcı olacak çok az şey söylüyordu. İnsanların çoğu, pek çok uzuvdan oluşan doğa ötesi bir organizma gibi görünen dünya hakkında çok az şey kavrayabiliyordu. En açık ayrım, gök ile yer arasında yapılabiliyordu. Çünkü her birinin farklı bir doğası vardı. Gökteki şeyler ebedi ve değişmez iken, yeryüzündeki şeyler ise doğmak, ölmek, büyümek, küçülmek, bir şeye dönüşmek ve hareket etmek suretiyle sürekli değişiyordu. Neden değişiyorlardı? Çünkü doğa üstü güçler, birtakım gizli potansiyeller veya birilerinin planı işlemekteydi. Krallar ve din adamları Tanrı'nın iradesini bildiklerini iddia ediyordu fakat bunun dışında hemen herkes için dünya kontrol edilemez, tahmin edilemez ve dehşet verici bir yerdi. Kraliyet ailesi, yaşama dair pek çok konuda politik meseleler, feodal liderler ve din adamları üzerinde mutlak güç sahibiydi.

İngiliz iç savaşının ilk yılı olan 1642'de dünyaya gelmiş olan Newton, bu dünyayı değiştirmek için en çok şey yapmış olan kişi oldu. O, insanlığa bir armağandı. Annesi onu Noel günü dünyaya getirmişti. Çiftçi olan babası birkaç ay önce ölmüştü. Gençlik yıllarında Newton, yaşıtlarının sporlara ve eğlenceye yönelmesini küçümsemiş, buna karşı zamanının büyük bölümünü yel değirmeni, su saati ve uçurtma gibi mekanik nesneler yaparak ve yerel kütüphanede bulunan kitapları okuyarak geçirmişti. Cambridge Üniversitesi'nin Trinity Koleji'nde öğrenci iken (1661-1665), Avrupa'da zamanın akademisyenlerinin incelemekte olduğu yeni fizik, matematik ve felsefe konularını kendi başına derinlemesine öğrendi.

1665 yılında, her beş kişiden birinin ölümüne neden olan büyük veba salgını Londra'yı vurdu ve Newton annesinin Lincolnshire'de bulunan çiftliğine sığınmak zorunda kaldı. Buradaki mecburi boş zamanı ona kesintisiz bir şekilde çalışma özgürlüğünü sundu. Bu sayede fizik, astronomi, optik ve matematikte pek çok temel keşifler yaptı. Bunun yanı sıra günümüz bilim insanlarının artık dikkate almadığı simya ve felsefe taşı gibi konuları, *Vahiyler Kitabı* ve diğer kutsal yazıları inceledi. En büyük keşiflerinden biri ise, Kalkulus veya diğer adıyla değişimin matematiği oldu. Kalkulus, ne kadar büyük veya küçük olduğuna bakılmaksızın x ile isimlendirebileceğimiz herhangi bir büyüklüğün eklenip çıkarılmasının, benzer başka bir büyüklüğün eklenip çıkarılması sonucunu doğurduğu şeklinde tarif edilebilir. Newton, kalkulusu kullanarak hareketin üç kanununu keşfetti. Bu kanunlar, önceden tahmin edilebilir kuvvetler tarafından yönetilen ve bu sayede açık ve anlaşılabilir olan dünya anlayışının temel taşlarıdır. Newton, çalışmak için bir Tanrı'ya ihtiyaç duymayan ve işleyişi sadece krallar ve din adamları tarafından değil fakat

herkes tarafından anlaşılabilir olan bir dünya anlayışını, devasa bir makine halinde olan dünya anlayışını getirdi.

Newton bir defasında, devlerin sırtlarının üzerine basarak ayakta durduğunu söylemişti. Fakat bu devasa sırtlar kısmen insani kısmen endüstriyeldi. Newton'un yolunu açan şey kendi zamanında yaşanan teknolojik gelişmelerdi. Mekanik bilgisi giderek gelişmiş, matematiğin uygulamalarına verilen değer artmış, özellikle maden endüstrisinde makine kullanımı giderek yaygınlaşmıştı. Ayrıca, kendisinden önce gelmiş olan Galileo ve diğer bilginler sayesinde, kuyruklu yıldızların hareketinde gözlendiği üzere, gökyüzünün doğa ötesi değil fakat mekanik bir düzen ile işlediğine dair ilk ipuçları elde edilmişti.

1931'de Sovyet fizikçi Boris Hessen, Marksist metodu kullanarak Newton'un bakış açısının ve bilimsel hedeflerinin tarihsel süreç ile motive olduğu şeklinde uç bir sonuca ulaştı. Hessen, bilim tarihine dışsalcı yaklaşımın bir örneğiydi. Dışsalcılar bilimi, tarihçilerin incelediği diğer konular gibi görürler. Bilimi, tarihsel ve kültürel bağlamda ortaya çıkmış sosyal bir ürün olarak görürler. Dışsalcılar, bilim tarihinde esas etkin olan kuvvetlerin, bilim insanlarının laboratuvarda yaptıkları çalışmalar olduğunu savunan içselcilerle bu noktada çelişir. İçselcilere göre doğanın temel tasarımı, tıpkı sayıları takip ederek çizilen bir bulmaca gibi önceden çizilmiştir. Bilim adamlarının yaptığı sadece bunu renklendirmektir. Hangi rengin önce geleceğini ve resmin ne kadar çabuk renkleneceğini politik, sosyal ve ekonomik faktörler etkilerken bu faktörler resmin esas şeklini değiştirmez. Hessen'de ise bunların hiçbiri yoktur. Hessen, bugün çok bilinen "Newton'un *Principia* Kitabının Sosyal ve Ekonomik Kökleri" isimli makalesine Papa'nın kuplesini, tarihsel gelişmeleri ilahi bir tasarruf veya kişisel bir deha olarak kabul etme eğilimine bir örnek olarak göstererek başlar. Hessen bunun yanlış bir şey olduğunu savunur. Marx ve Engels, tarihi yönlendiren şeylerin iktidar sınıfının hizmetinde olan üretim gücü ve gelişimsel ilişkiler olduğunu söyler. Newton'un ajandası Tanrı tarafından değil fakat ulaşım, maden endüstrisi ve savaş endüstrisindeki gelişme arayışlarından gelen sosyal kuvvetler tarafından belirlenmişti. Günümüzde Hessen tezi olarak adlandırılan bu tez, Newton'un, doğayı daha fazla kontrol edebilme ve işçi sınıfını daha fazla sömürebilme çabası icinde olan sanayileşmiş toplumun bir temsilcisi olduğunu iddia eder.[4]

Hessen'in kendisi de yaşadığı dönemin sosyal kuvvetlerinin etkisi altında kaldı. Sonuç kötü oldu. Hessen, makalesinin çıkmasından beş yıl sonra

4 Loren R. Graham, "The Socio-political Roots of Boris Hessen: Soviet Marxism and the History of Science", *Social Studies of Science* 15, No. 4, Kasım 1985, s. 705-22.

Sovyet gizli polisi tarafından tutuklandı. Terörizm ile suçlandı, yargılandı, hüküm giydi ve Noel'den beş gün önce 1936'da kurşuna dizilerek idam edildi.

Çıkış noktası ve amacı ne olursa olsun, Newton'un baş yapıtı olan ve kısa ismiyle *Principia* olarak bilinen *Doğa Felsefesinin Matematiksel Prensipleri* kitabı (1687) dünyamızı değiştiren bir eser oldu. Tüm zamanların en büyük etki yaratan bilimsel çalışması olan bu kitap, evrensel kütle çekimi ve hareket yasalarını ilk defa ortaya koymuştur. Newton'un tanımladığı dünya artık hepimiz için alışagelmiş olduğumuz bir gerçeklik olsa da kendi zamanında yaşamış insanlar için öyle değildi. Bazıları bu dünyayı anlamakta güçlük çekti ve hatta mantıksız buldu. Yeryüzü ve gökyüzü açıkça iki farklı âlemdi. Gökteki Güneş, milyonlarca kilometre uzakta bulunan gezegenleri nasıl hareket ettiriyor olabilirdi ki? Onları çeken ve iten neydi? Newton neden evreni yöneten içsel nedenler ve mekanik etkileri incelemiyordu? Newton, bu gibi şeyler ile ilgili hipotezler icat etmeyeceğini fakat sadece matematiğe bakacağını söylüyordu. Fakat bu bilimsel değildi ki! Feingold'un sergi kataloğunda gözlediği gibi, Newton dünya görüşüne geçiş için uzun bir asimilasyon sürecine ihtiyaç vardı.[5] Fakat insanlar Newton dünya görüşünün artık yerlisi olduktan sonra bu dünya görüşü, Newton'dan çok sonraya kadar devam eden ve insan yaşantısı ve kültürünün her köşesine nüfuz eden bir etki meydana getirdi.[6] Geçmişteki çelişkileri yeni gelecek fırsatlarına dönüştürdüğümüz bir tarih "döneminin" doğmasını sağladı.[7] Bu dönüm noktaları insanların ne bildiğini, ne yaptığını ve deneyimlerini nasıl yorumladığını tamamen değiştiren kültürel paradigma değişimleridir.

Newton dünya görüşünün basitliği, zarafeti ve anlaşılabilirliği onu güvenilir ve güzel yaptı. Yeryüzü ve gökyüzü farklı şeylerden meydana gelen farklı âlemler değildi. Zaman, mekân ve kuralları tüm ölçeklerde aynı ve düzgün olan tek bir evrenin parçalarıydı. Bu evren, beklenmedik bir şekilde orta-

5 Feingold, *The Newtonian Moment*, s. xiii.

6 Devrimsel nitelikte bilim teorilerinin genelde bu şekilde bir etkisi vardır. Darwin'in evrim teorisinin kültürel etkisi için bkz. Monte Reel, *Between Man and Beast: An Unlikely Explorer and the African Adventure the Victorian World by Storm*, Doubleday, New York, 2013.

7 *The Machiavellian Moment: Florentine Political Thought and the Atlantic Republican Tradition*, Princeton University Press, Princeton, 1975 eserinde tarihçi J.G.A. Pocock, Niccolo Machiavelli'nin (1469-1527) yazılarının, erdemli cumhuriyetlerin genellikle şaşırtıcı ve kaçınılmaz şeklide yıkım tehdidi altında olması gerçeğine bir cevap niteliğinde olduğunu detaylandırmaktadır. Bu gerçekle açıkça yüzleşmek ve onu hesaba katmak Machiavelli'nin yazılarının, politik düşünce ve eylemde yeni bir arena açtığını gösterir. Pocock, Machiavelli dönemini takdir edebilmek için onun sadece yazılarını anlamakla kalmayıp hangi tarihi koşullara yanıt verdiğini ve bu koşulları nasıl değiştirdiğini de anlamak gerektiğini göstermiştir.

ya çıkıp kaybolan hayaletler ve ruhlar tarafından yönetilmeyen homojen bir evrendi. Her nesnenin belli bir kimliği vardı ve zaman ve mekân içinde belli bir yeri vardı. Nesneler, kendi varlıklarına hükmederek, onu gerçekleyerek veya yoğunlaştırarak değişmiyorlardı. Dünya âlemi, nesnelerin kuvvetler ile itilip çekildiği bir çeşit kozmik sahne veya bir bilardo masası gibiydi. Mekân, her noktada sürekli ve aynıydı, bütün yönler birbirine kıyas edilebilirdi ve bütün olaylar ise nedenselliğe bağlıydı. Nesnelerin neden ve nasıl değiştiğini anlamak, onların veya onları meydana getiren parçaların neden ve nasıl hareket ettiğini anlamak demekti. Tarihte ilk defa insanlar dünyanın bir bütünlüğe ve tutarlılığa ve hatta belli bir mantığa sahip olduğunu gördü.

Newton'un dünyası aynı zamanda kesin ve tahmin edilebilir bir dünyaydı. Fransız matematikçi ve astronom Pierre-Simon Laplace (1749-1827) belirttiği gibi:

> Evrenin şu anki halini, bir önceki halinin bir sonucu ve gelecek olan bir sonraki halinin ise nedeni olarak kabul etmek zorundayız. Evreni hareket ettiren bütün kuvvetleri ve onu meydana getiren bütün nesnelerin durumlarını bilen bir akıl olduğunu bir an için kabul etsek, bütün bu bilgileri işleyebilecek kadar büyük bir akıl, evrendeki en büyük nesnelerden en hafif atomlara kadar hepsinin hareketi için aynı formülü benimseyecektir. Böyle bir akıl için hiçbir şey belirsiz olmayacak ve gelecek, tıpkı geçmiş gibi, gözlerinin önünde halihazırda bulunuyor olacaktır.[8]

Newton döneminde böyle bir akıl, bilim insanları için bilginin idealini temsil ediyordu. Dünyayı anlamak için gizemli bilgilere veya her şeyin üstünde bir otoriteye ihtiyaç yoktu. İnsanlar evrende her yerde ve her ölçekte meydana gelen olayları, kendi ölçeğimizde olduğu gibi hayali olarak gözlerinde canlandırabilirdi. Örneğin Güneş Sistemi'ndeki nesnelerin hareketlerini toplar ve çubuklar kullanarak modelleyebilirsiniz. Newton'un ölümünden yüzlerce yıl sonra doğmuş olan atom teorisinde benzer bir modellemeyi bu defa atomlar ve moleküller için de yapmamız mümkün olmuştur. Mekanik modellerin hepsi matematiksel şekilde ifade edilebilir. İngiliz bilimci Lord Kelvin "Bir şeyin mekanik modelini yapana kadar asla ikna olmam" demiştir. "Eğer mekânın modelini yapabiliyorsam o zaman onu anlayabilirim. Eğer mekanik modelini yapamıyorsam o zaman derinlemesine anlayamam" demiştir.[9] Ha-

8 Pierre Laplace, *A philosophical essay on probabilities*, çev. F. Truscott ve F. Emory, Dover, New York, 1951, s. 4.

9 William, Thomson (Lord Kelvin), *Kelvin's Baltimore Lectures and Modern Theoretical Physics: Historical and Philosophical Perspectives* (Johns Hopkins Center for the History & Philosophy of

reketin yasaları da aynı şekilde matematiksel formda yazılabilir. Örneğin iki nesne arasındaki kütle çekim etkisi tek bir ifade şeklinde verilebilir; çekim sabiti, nesnelerin kütlelerinin çarpımı ile çarpılır ve nesnelerin arasındaki uzaklığın karesine bölünür. Bu matematiksel ifade nesnelerin ne olduğu, nerede olduğu ve birbirlerinden ne kadar uzakta olduğuna bakılmaksızın geçerlidir. Bu tür doğa yasalarını anlamak, Ay'a insan göndermemizi ve Güneş Sistemi'nin uzak köşelerine uzay araçları göndermemizi mümkün kılmıştır.

Son olarak, Newton'un dünyası insan eylemlerine atıfta bulunmadan da anlaşılabilir bir dünyadır. Aristo'ya göre hareketi izah etmek için hem onun mekanik itme ve çekme etkilerini bilmek, hem de olayın "niçinlerini", yani insansal amaç ve hedeflerini de bilmek gerekiyordu. Bir at arabası yol üzerinde niçin hareket eder? Çünkü atlar onu çeker ve yol ise direnç gösterir demek olayın sadece bir nedenidir. Diğer bir nedeni ise tüccarın geçimini sağlamak için pazarda ürün satmak zorunda olması ve bu nedenle arabaya atları bağlayıp yola çıkmış olmasıdır. Fakat Newton'a göre at arabasının hareketi, insan eylemlerine atıfta bulunmadan sadece kütleler ve kuvvetler ile izah edilmelidir. Eğer insan hareketleri de olaya dahil ise, bunlar da nihayetinde sadece mekanik itme ve çekme etkileri ile açıklanmalıdır. Newton'un dünyası öyle bir sahnedir ki, onda hareket eden şeyler sadece kütlelerdir ve bu kütleleri hareket ettiren şeyler ise sadece kuvvetlerdir. Bu dünyayı, tıpkı bir akvaryumu inceler gibi tahlil edebiliriz. Biz gözlemciler sanki gözlediklerimizden bağımsızmışız gibi, içindekileri etkilemeden bu dünyaya dışarıdan bakabiliriz. Elbette bir ölçüm yapmak, üzerinde ölçüm yapılanı etkileyebilir. Ancak bu etki önceden öngörülebilir ve prensipte istenen en asgari seviyeye kadar azaltılabilir. Bu nedenle bilim insanları, kendilerini ölçtüklerinin dışında tutabilir ve hakkında bilgi edindikleri şeyden kendilerini soyutlayabilirler. Newton dönemi, bilim insanlarının doğa üstü planlara, tasarımlara ve amaçlara müracaat etmeden doğanın yasalarını mekaniksel ve matematiksel olarak inceleyebildikleri bir dönem olarak kayda geçmiştir.

Tarihçiler Betty Dobbs ve Margaret Jacob, "Newton dönemi, günümüzde çoğu Batılının ve Batılı olmayanın yaşadığı ve modernite olarak adlandırdığımız materyal ve düşünsel evreni bizlere verdi" diye yazmıştır.[10] Özel ruhsal güçlere olan batıl inançları baltalamıştır. Bu, Tanrı'nın yeni bir rol al-

Science'daki çalışmalardan), R. H. Kargon ve P. Achinstein (der.), MIT Press, Cambridge, 1987, s. 206.

10 Betty Jo Teeter Dobbs ve Margaret C. Jacob, *Newton and the Culture of Newtonianism*, Humanities Press, Atlantic Highlands, NJ, 1985, s. 123.

ması anlamına geliyordu. Tanrı'ya inanan bir insan olarak Newton, bu makine benzeri evrenin ona yasalarını verecek yüce bir varlığa ihtiyacı olduğunu farz etmiştir. Kendisinin tarif ettiği dünyanın tasarımının, akılcılığının ve bütünlüğünün Tanrı inancını güçlendirerek desteklediğini düşünmüştür. Ancak bu düşüncenin geri teptiğini görüyoruz. Kâinatın düzenine ve mekanik işlevine dair Newton'un getirdiği izah, dikkatleri evrenin yaratıcısından uzaklaştırıp onun yasalarına çevirmiştir. Görüşüne göre Tanrı, işini bitirdikten sonra varlığı artık gereksiz hale gelen ve bu nedenle kendi yasalarına tabi olan bir çeşit makine inşaatçısı olmalıydı. Bütün "niçin" sorularının matematiksel ve mekanik cevaplarının olduğu gerçeği dine inananların savunmaya geçmesine neden oldu. Buna rağmen Newton, edebiyattan müziğe, politik teoriden felsefeye ve teolojiye kadar kültürün bütün alanlarında güçlü ve belirleyici etkiler bırakmıştır.[11]

Newton'un çalışmaları, istikrarlı politik düzenleri ve modern demokrasi düşüncesini tercih ettiği ve saltçılık iddialarını zayıflattığı için politik teoriyi de etkilemiştir. Politik düşünürler, Newton'un fiziksel dünyayı yöneten yasaları araştırmasına benzer yolla insan dünyasını yöneten yasaları araştırmak için cesaret kazanmıştır.[12] Newton'un asistanlarından biri olan John Desaguliers, "Devletler için en iyi model, Newton'un dünya modelidir" diyen ve Güneş Sistemi'nin düzenini devletler için örnek bir model olarak gösteren bir şiir yazmıştır. Amerika'nın bütün kurucu ataları Newton'u okumuş ve insani meselelerde ona itibar etmişlerdir. Thomas Jefferson, Amerika'nın bağımsızlık bildirgesinin ilk cümlesinde doğanın yasalarına atıfta bulunurken açıkça Newton'u hatırına getirmiştir. Newton'dan ilham almış politik bilimciler, Amerikan felsefeci Richard Rorty'nin karakterize ettiği üzere, sosyal reformları belirlerken Yunanlıların, Çinlilerin veya Fransızların ne olduğuna bakarak değil fakat genel anlamda "insanların ne olduğuna" bakarak belirlemiştir bu reformları.[13]

Newton'un çalışmaları felsefecilere yeni bir ödev de vermiştir. Pek çok filozof, Newton'un çalışmalarının, sonsuza dek uzanan ve bölünemeyen

11 Newton'un yaşamı ve çalışmaları dikkatlice ve detaylı olarak belgelenmiş ve bilim tarihçileri tarafından incelenmiştir. Sınıf çalışmalarımız için faydalı bulduğumuz kaynaklar: Dobbs ve Jacob, *Newton* ve I.Bernard Cohen, *The Birth of a New Physics*, Norton, New York, 1985.

12 İngiliz yazar Walter Bagehot'un, Newton fiziğine ait düşüncelerin politik kavramlar üzerindeki etkilerini incelediği *Physics and Politics* (1872) isimli kitabı klasik bir örnektir. Bu kitapta Newton sonrası döneme ait kütlenin ve enerjinin korunumu yasası ve atomların davranışı gibi düşünceler kullanılmıştır.

13 Richard Rorty, *Objectivity, Relativism, and Truth* (Cambridge: Cambridge University Press, 1991), s. 22.

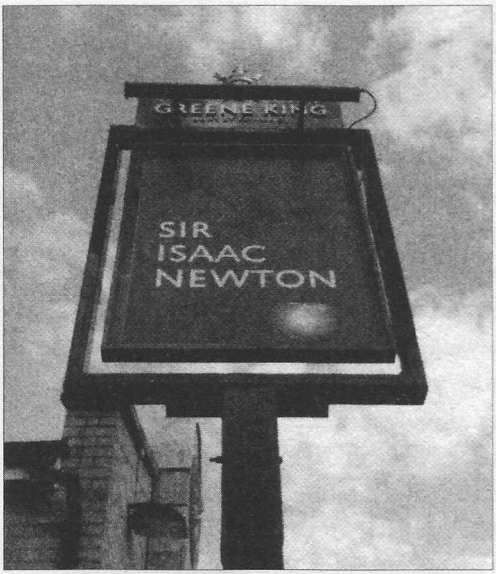
mekân ve zaman ve evrensel nedensellik gibi belli başlı bazı fikirlere dayandığını görmüştür. Ancak bu fikirler ne matematiksel gerçekler gibi kendiliğinden aşikâr olan şeylerdi ne de günlük deneyimlerimizde görebildiğimiz şeylerdi. O halde neden bu fikirler bu denli bütünleşmiş görünüyordu? Alman felsefecisi Immanuel Kant, deneyimin bizzat var olması için bu fikirlerin gerekli birer koşul olduğunu gösterdi. Aksi halde insan bilincinin var olması mümkün olamazdı. Bunlar, algılarımızdan gelen verilere ve deneyimlerimize düzeni ve tutarlılığı ve Newton'un yasalarına da geçerliliğini veren formda organize eden mental yazılımımızın bir parçasıdır. Newton'un, kütle çekimi gibi olaylar için içsel nedenlere yönelik hipotezler aramayacağını söylediği gibi Kant da, fenomen yerine nomen olarak isimlendirdiği ve şeylerin onları nasıl deneyimlediğimizden ayrı olduğuna yönelik hipotezler aramayacağını söylemiştir.

Şairler, ressamlar ve diğer sanatçılar Newton'un çalışmalarından ya ilham almışlar ya da tahrik olmuşlardır. Romantik şairler, "gökkuşağının optik kırılma ile açıklanması gizemini ondan çalmıştır" diyen İngiliz şair John Keats ile taraf olanlar ve "gün batımını ve gökkuşağını Newton'un gözünden de görmeyi öğrenebilir ve optik kırılma yasasının ne kadar sade ve ne kadar güzel olduğunu ifade edebiliriz" diyen şair James Thomson ile taraf olanlar olmak üzere ikiye ayrılmıştı.

Nihayetinde Newton'un eserleri, toplumun üzerinde neredeyse tarikat benzeri bir cazibe oluşturmuştur. Evrenin işleyişi hakkında daha önce sadece din otoriteleri ve mistikler için ayrılmış olan kavramları herkese açmıştır. Newton'un çalışmaları sadece dinsel vaazlarda değil, aynı zamanda seküler bilginler ve sıradan insanlar arasında da tartışılıyordu.[14]

Newton'un bıraktığı etki, hem bilimsel hem de kültürel anlamda modern yaşamın her cephesinde kendini gösterir. Örneğin hız göstergeleri, kütle çekimi ve irtifa göstergeleri gibi sürekli değişen büyüklükleri ölçen enstrümanlarda kendini gösterir. İngiltere'deki Cambridge şehrinin dış mahallesinde, Lyndsey McDermott kuaför salonunun hemen yanında Castle Caddesi üzerinde Sir Issac Newton adında bir bar vardır. Sıradan biralar ve sıradan yiyecekler sunan sıradan bir işletmedir. Öyleyse neden bu ismi seçmiş? Bardaki müşteriler büyük ihtimalle yüzünüze boş boş bakıp, İngiliz üstünlüğü, tarihi,

14 Newtonsal kültlerin geliştirdiği ve seküler dinlere benzer düşünceler bilim insanları ve sıradan insanlar arasında yayılmıştır. Bunun bir örneği, Newtonsal evrenin düzenini ve mantığını kullanarak alternatif kültürel bir deneyim oluşturmuş olan hür masonlardır. Mason localarında eğitimli elitler, bilim hakkında ne kadar az bilgi sahibi olduklarına bakmadan, Newton'un sistemine tapmıştır. Evrenin Büyük Mimarını ve O'nun muhteşem eserini takdir etmek için düzenlenen törenleri yönetmiştir. (Dobbs ve Jacob, *Newton*, s.104)



Sir Isaac Newton Pub, 84 Castle Caddesi, Cambridge, İngiltere.

veya Newton'un yolun hemen aşağısında bulunan üniversitede okumuş olması gerçeği ile ilgili bir şeyler söyleyebilirler. Fakat barın ismi bizlere Newton'un halen popüler bir simge olmaya devam ettiğini hatırlatır. Newton'un ismi, Cambridge Üniversitesi Kütüphanesi'nin online ders kataloğuna, bir kuvvet birimine, bir sıcaklık ölçeğine, bir bilgisayar işletim sistemine ve hatta yörüngede bulunan bir X-ışını gözlem uydusuna verilmiştir.

Newton'un çalışmalarının bu denli uzun süre devam etmiş etkilerinin olması, algısal cihazlarımızın gelişmesine bilimsel bir altyapı sunmuş olması gerçeğine dayanmaktadır. Süreklilik olgusunun yerleşmiş olduğu bir dünya anlayışına adapte olmuş haldeyiz. Sürekliliği göremediğimiz yerde ise ortaya çıkan boşluğu aklımızda kendi kedimize dolduruyoruz. İllüzyonistler bu gerçeği bilir ve onu faydalı süreklilik olarak adlandırır.[15] Bu sayede bir düzenek kurup, gerçekte olmamış bir eylemi veya olayı sanki olmuş gibi algılamamızı sağlayarak bizi yanıltmayı başarırlar. Bir başka deyişle illüzyonistler, Newton yasaları temelinde var olduğunu kabul ettiğimiz düzeni maniple ederler. Newton dönemi bu prensibi var etmemiştir (çünkü zaten halihazırda vardı), fakat onu bilimsel bir temele oturtmuştur. İllüzyonistler kuantum dünyasında oldukça zorlanırdı. İngiliz biyolog Richard Dawkins "beyinlerimiz, bedenlerimizin işlev halinde olduğu ebatlar ve hızlar ölçeğinde hayatta kalmamızı sağlayacak şekilde evrimleşmiştir" diye yazmıştır. Bu ölçek, sezgilerimiz için konfor bölgesidir. Dawkins bu bölgeyi "orta dünya" olarak adlandırır. Çok büyük, çok küçük veya çok hızlı olanların acayipliklerle dolu dünyasının tersine, normal olarak algıladığımız kısıtlı bir gerçeklik sahasının dünyasıdır orası.[16]

15 Örnek için bkz. A.S. Barnhart, *The exploitation of Gestalt Principles by Magicians, Perception* 39, 2010, s. 1286-89.

16 Richard Dawkins, Why the Universe Seems So Strange, http://www.ted.com/talks/richard_dawkins_on_our_queer_universe.html (Erişim tarihi: 9 Eylül 2013).

Newton'un çalışmaları, doğal dünyada sezgilerimizin konfor bölgesini yöneten yasaları belirlemekle nedenselliğe, tutarlılığa ve sürekliliğe dayanan beklentilerin de oluşmasını sağlamıştır. Bu beklentiler sanat, edebiyat ve felsefe alanında güçlü etkiler meydana getirmiştir. Bu beklentiler, Newton'un zamanında edebi bir form olarak ortaya çıkmaya başlamış olan romanları yazanların ve okuyanların da sezgiselliklerinin şekillenmesinde etkin olmuştur. Çoğu insanın gerçek yaşantısı yasalar tarafından yönetilen düzgün ve akıcı süreçler değildir. Ancak Newton'un ortaya koyduğu evren anlayışı, insanların yaşamlarına sanki öyleymiş gibi bakmalarını sağlayan bir model ortaya koymuştur.

Kısacası Newton'un çalışmaları insan yaşantısının her alanında etki sahibi olmuş ve Kant'ın belirttiği felsefenin üç temel sorusu olan "Ne bilebiliriz?", "Nasıl davranmalıyız?" ve "Ne bekleyebiliriz?" sorularına cevap aranmasına yardımcı olmuştur. Newton dönemi bunun ötesinde, Alman doğumlu filozof Rudolf Carnap ve meslektaşlarının "Dünyanın Bilimsel Anlayışı" isimli mantıksal pozitivizm manifestosunda örneğini gördüğümüz gibi, soyut ve manevi bir boyuta da sahiptir. Bu manifesto, kuantum devriminin (1929) ardından kısa bir süre sonra yazılmıştı. O dönemlerde kuantum devriminin kültürel etkisinin, manifestonun özünü teşkil eden Newton ruhunu nasıl zedeleyeceği henüz tam açık degildi. Pozitivist filozoflar, bilimsel dünya anlayışını bir tutum ve yönelim olarak ifade ediyorlardı. Nihaiyi hedefin birleşmiş bir bilim olduğunu yazıyorlardı. Bu hedef, tarafsız bir formüller sistemi arayışını, tarihsel dilin jargonlarından kurtulmuş bir sembolizmi ve tamamlanmış bir kavramlar sistemini destekliyordu. Bilimsel bir hedefin ötesinde, tamamıyla rasyonel bir insanın belli başlı bazı tutumlara ve davranışlara sahip olması gerektiğini ifade ediyordu:

> Açıklık ve zariflik arzu edilendir ve karanlık mesafeler ve kavranamaz derinlikler terk edilmelidir. Bilimde "derinlikler" yoktur fakat her yerde yüzeyler vardır. Bütün deneyimler, her zaman bütünüyle görünemeyen ve çoğunlukla parçalar halinde anlaşılabilen kompleks bir ağ meydana getirir. Her şey insanın erişimine açıktır ve insan her şeyin ölçüsüdür... Bilimsel dünya anlayışı çözülemez sırlar diye bir şey tanımaz.[17]

Bu pozitivist manifestonun ruhu herhalde Newton döneminin erişebildiği en yüksek seviye çizgisidir.

---

17 Hans Hahn, Otto Neurath ve Rudolf Carna, "The Scientific Conception of the World: The Vienna Circle", *Philosophy of Technology: The Technological Condition* içinde, R. Scharff ve V.Dusek (der.), Blackwell Pusblishing, Oxford, 2003, s. 89.

KUANTUM PUSUSU

Newton dönemi yaklaşık 250 sene devam etti. Sonra, 1900'de pusuya düşürüldü. Optik biliminin uzak köşelerini çalışırken fizikçiler, bu alanda olup bitenleri "kuantum" adını verdikleri tuhaf ve yeni bir fikir ortaya atmakla açıklayabileceklerini gördüler. Bu yeni fikir, ilk başta yanıltıcı şekilde basit gibi görünse de, Newton dünyasının temellerini tamamen parçalayacaktı.

Saldırı iki aşamada gelişti. 1900'den 1925'e kadar olan birinci aşamada bilim insanları, kuantum dünyasının Newton dünyasının zaman, mekân ve nedensellik ile ilgili kabullerine uymadığını yavaş yavaş görmeye başladı. Fakat pek çoğu, kurallara uymayan bu çocuğu terbiye edebileceklerini umdu. *Principia*'nın yazımı sırasında pek çok konuya Newton'un zarif dünyasında bir yer buldukları gibi bu konuya da uygun bir yer bulacaklarını düşündüler. Bu süreçte toplum, kuantum teorisini rölativite teorisine benzer bir teori gibi gördü. Bu teori en parlak bilim insanları için son derece karmaşık ve heyecan verici, fakat bunun haricinde diğerleri için anlaşılması imkânsız fakat çok önemli bir teoriydi.

Ardından her şey değişti. 1925'ten 1927'ye kadar olan kısa süreçte, kuantumu terbiye etmeye dair hayaller yeni bir teorinin gelmesiyle tamamen alt üst oldu. Bu yeni teori, temel taşı belirsizlik prensibi olan ve bu nedenle temelleri klasik fizikten çok farklı olan bir teoriydi. Kuantum mekaniği olarak adlandırılan bu ikinci devrim, Newton mekaniğinin izah edemediği olayları açıklayabiliyor ve atomların dinamiğinden Güneş'in nasıl ışıdığına kadar pek çok soruya cevap verebiliyordu. Bu yeni teori mikroskobik âlemin teorisi olarak Newton fiziğinin yerini aldı. Kuantum teorisinin tarihinin bu ikinci aşamasında onun tarif ettiği dünyadan, Newton'un dünyasının tam tersi bir dünya şeklinde söz edebiliriz. Bu ikisi, birbirinden farklı doğa yasaları ile yönetilen iki farklı âleme ait gibiydi. Newton'un dünyasından farklı olarak bu yeni dünya egzotik ve hatta sihirli bir dünyaydı. Fakat pek çok problemli özelliğinden dolayı basitlik ve zarafetten yoksundu. Bunlardan birincisi ölçekle alakalıydı. Ölçek, mikro dünya ve makro dünyanın kurallarının birbirinden farklı hale gelmiş olmasından dolayı önem kazanmıştı. Bir diğeri ise homojen olmama ile alakalıydı. Bazı şeylerin var olma şekli diğerlerinden farklıydı. Üçüncüsü süreksizlikle alakalıydı. Newton'un dünyasından farklı olarak zaman ve mekân gibi bazı özellikler birbirini kesintisiz olarak takip eden sürekli bir yapıya sahip degildi. Dördüncüsü belirsizlikle alakalıydı. Newton dünyasına ait olan konum ve momentum gibi fiziksel özellikler aynı anda tespit edilemiyor ve var olduğu dahi iddia edilemiyordu. Beşincisi ise öngörülemez-

likle alakalıydı. Altıncısı da belli ölçüm işlemlerinde kendimizi bu işlemden soyutlayamıyor olmamızdı. Mikro dünyaya ait bazı özelliklerin varlığı doğrudan o özelliklerin ölçülmesine bağlıydı. Bu nedenle, nesnelerin gözlemden bağımsız sabit ve belli özellikleri vardır diyen klasik nesnellik kavramı yıkılmış oluyordu. Bilim insanları, edinmeye çalıştıkları bilgiden kendilerini artık soyutlayamayacaklarını keşfetmişlerdi.

1927'de belirsizlik ilkesinin keşfi, nedenselliğe dayalı Newton dünyasına geri dönüş için beslenen umutların yok olmasına neden oldu. Kuantum mekaniğinin temel taşlarından olan bu prensip, bir parçacığın konumunun ve momentumunun aynı anda bilinmesinin mümkün olmadığını söylüyordu. Bu gerçek, Blake'in tablosunda Newton'un sırtını dönmüş olduğu doğa denizine ait öğrenmek istediği şeylerin hepsini artık öğrenemeyeceği anlamına geliyordu. Laplace'ın her şeyi bilen üstün aklının daha ilk adımı dahi atamayacağı anlamına geliyordu. Bu prensip belirsizlik, rastgelelik, şans, sebep ve ihtimal gibi terimlerin anlamlarının da değişmesine yardımcı oldu.[18] İçlerinde Einstein'ın en ünlüsü olduğu birkaç bilim insanı Newton'un dünyasını yeniden tesis etmek için uğraştı. Bazı bilim insanları olup bitenleri bilim uzmanı olmayanların anlayacağı dille ifade etmeye çalıştı ve toplum bu popülerleştirme çabalarını büyüleyici karşıladı. Bu durum söz konusu çabanın fiziğin çok ötesine pek çok kültürel alana yayılmasına neden oldu. Felsefeciler, sanatçılar, roman yazarları ve şairler kısa zamanda kuantum terimlerine ve kavramlarına adapte oldu. Bu terimler günlük konuşma dilinde kendini göstermeye başladı. Newton dönemi ile şekil almış olan kültürel formlar tehdit altına girdi ve yeni formların evrimleşmesine kapılar açılmış oldu.

Kuantum dünyası ne anlama geliyordu? Daha önceleri keşfedilmemiş bir dağın ötesinde bilinmeyen bir bölge gibi bir şey miydi? Farklı manzarası ve üzerinde yaşayan tuhaf varlıklarından dolayı hakkında bilgi edinmeye değer fakat kendi dünyamıza fazla etkisi olmayan bir diyar mıydı? Uzak bir galakside yaşayan ve biz insanların kendimiz ve evrendeki yerimiz hakkındaki fikirlerimizi değiştirecek uzaylı bir medeniyetle iletişim kurmak gibi miydi? Ya da, doğanın temelinde yatan bu kuantum diyarı, neyin gerçek ve neyin gerçek dışı, neyin mantıklı ve neyin mantıksız olduğu ile ilgili düşüncelerimize derin etkileri olacak bir diyar mıydı?

Onca zamanın ardından bugün dahi kuantum dönemi, yerini aldığı Newton dönemine göre daha bulanık ve oturmamış haldedir ve şekli halen

18 Örnek için bkz. Stephen G. Brush, *Irreversibility and Indeterminism: Fourier to Heisenber, Journal of the History of Ideas* 37, 1976, s. 603-30.

oluşturulmaya çalışılmaktadır. İnsanlar henüz "kuantumun yerlisi" haline gelmediler. Bir asrın ardından bizler halen kuantum dünyasında göçmenleriz ve tuhaf ve kafa karıştırıcı bu dünyanın anlamını çözmek için onu da bilindik bir dünya haline getirme çabasındayız. Kuantum mekaniğini cezp edici buluyoruz çünkü çoğu zaman kendi deneyimlerimizi tanımlamada karşılaştığımız güçlüklere hitap ettiğini görüyoruz. Kuantum mekaniğinin tuhaf olduğu kadar bizler de tuhafız.

Fizikçi Richard Feynman ünlü bir ifadesinde "kuantum mekaniğini hiç kimse anlamıyor" demişti. Kendisi her zamanki gibi provokatif idi ancak sözleri, bu konunun adı çıkmış zorluğunun ve sağ duyuya tamamen ters düşen doğasının altını bir kez daha çiziyordu. Peki bu konu neden bu kadar zordu?

Kuantum dünyasının yerlisi olmayı başaramamış olmamız muhtemel bir cevap olabilir. Evrim bizleri, kuantum etkilerinin kendini doğrudan göstermediği ve zaman ve mekân ölçülerinin Newtonsal olduğu bir dünyaya adapte olacak şekilde geliştirmiştir. Bu dünyaya bir canlı türü olarak adapte olduk, içinde bireyler olarak yetiştik ve zihinlerimizin deneyimlerimizi nasıl işlediğine bağlı olarak ona demir attık. Bu bakış açısında kuantum dünyası ile klasik dünyamızı aşılamaz bir uçurum ayırmaktadır. Bu nedenle kuantum dünyasını her zaman egzotik ve kavranamaz olarak göreceğiz. Kuantum dünyası hakkında bilgi edinmenin keyfi, görmeyi beklediğimiz şey ile gördüğümüz şey arasında uyumsuzluğu şaşkınlık ile izlediğimiz bir illüzyon gösterisi izlemek gibidir. Bu heyecan hiçbir zaman azalmayacak.

Fakat tuhaflığın kuantum dünyasından değil de bizden kaynaklandığı bir alternatif var. Şeyler nazarımızda sadece aşina olduğumuza kıyasla tuhaftır. Eğer aşina olduğumuzu düşündüğümüz bir şeyin aslında hayal olduğunu ve yanlış öngörüler içerdiğini görürsek (yani dünyamız zannettiğimizden daha tuhaf ise) ona kıyasladığımız kuantum dünyası bize o kadar da tuhaf gelmeyecektir. Blake'in Newton'u, eğer ayağa kalkıp, odaklandığı kâğıttan kafasını çevirip kendi deneyimlerine daha çok müracaat etmiş olsaydı, yeni gelişmeler karışısında belki bu denli sürpriz olmazdı. Kuantum dünyasını öğrenme çabamızda, *The Wizard of Oz*/*Oz Büyücüsü* filminin sonunun tam tersi bir sonla karşılaşabiliriz. Evimiz olduğunu zannettiğimiz yerin aslında bir hayal olduğunu ve dünyamızın aslında gerçekten de biraz filmdeki gibi olduğunu gördüğümüz bir son. İşte o zaman kuantum dünyasının yerlileri olmayı başarmış oluruz.

BÜYÜK TASARIM

Voltaire, "Newton bizim Kolomb'umuzdur. Bizleri yeni bir dünyaya götürdü" diye yazmıştır.[19] Kendi dünyamızın bir nevi iskelet versiyonu olan özel bir çeşit dünyadır o. İçindeki yegâne şey, kütlelerdir. Bu kütlelerin yaptığı tek şey, etrafta hareket etmektir ve bu hareketleri başlatan ve durduran yegâne şey, kuvvetlerdir. Newton, bu en temel varsayımların öylesine sade, zarif ve anlaşılır bir evren ortaya koyduğunu göstermiştir ki bu evren "Büyük Tasarım" olarak adlandırılmıştır.[20]

Newton, *Principia*'da bu Büyük Tasarımı bizlere göstermiştir. Onun en temel kavramları kuvvet, kütle ve hızdır. Her kütle belli bir anda belli bir konuma sahiptir. Eğer hareket halindeyse, zamana göre konumundaki değişme miktarına hız adı verilir. Eğer hızı değişiyorsa, hızın zaman göre değişme miktarına ise ivme adı verilmektedir. Kütleler, kuvvetlerin etkisinden dolayı ivmelenirler. Bu kuvvetler, ya temas ya da çekme ve itme şeklinde nesnelerin arasındaki etkileşimlerinden ortaya çıkar. *Principia*'da Büyük Tasarım'da hareket için üç yasa tanımlanmıştır. Bu yasalar evrende her yerde ve her ölçekte geçerlidir.

Birinci yasa: Üzerine kuvvet etkimeyen bir kütle ya hareketsiz kalmaya devam eder ya da düzgün çizgisel bir hareketi sürdürmeye devam eder. Eğer bir kütle harekete geçerse ya da düzgün çizgisel hareketini değiştirirse, ona bir kuvvet etkimektedir.

İkinci yasa: Bir kütlenin ivmesi ona etkiyen kuvvetle orantılıdır ve onla aynı yöndedir. Newton, *Principia*'da bunları sözler ile ifade etmiştir. Yüz yıl sonra bu ifadeler sembollere indirgenecek ve günümüzde aşina olduğumuz F=ma formundaki denkleme dönüştürülecekti.

Üçüncü yasa: Üçüncü yasa nesneler arasındaki etkileşimlere uygulanır ve her kuvvete bir karşı kuvvetin eşlik edeceğini söyler. Newton "Her etki için ona karşı ve onla aynı büyüklükte bir tepki vardır. Ya da iki nesnenin birbirine olan karşılıklı etkisi her zaman birbirine eşit ve karşı tarafa etkir şekildedir" demiştir. "Bir at ipe bağlı bir taşı çekiyorsa, taşın ata doğru çekildiği kadar at da taşa doğru çekilmektedir" demiştir.

Bir kütlenin gelecekteki hareketini tahmin etmek veya geçmişte konumunu bulmak için, kütlelerin herhangi bir zamandaki hızlarını (konumun değişme miktarı) hesaplamamızı sağlayan hareketin bu üç kuralını uygulamamız gerekir. Hızı bilmekle, nesnenin belli bir zaman aralığında ne kadar öteye gidebileceğini hesaplayabiliriz. Söz konusu mesafe, basitçe, hareketin gerçekleştiği zaman aralığının büyüklüğü ile bu zamandaki ortalama hızın çarpımına eşittir. Hızı tespit etmek için Newton mekaniği, momentum adını verdiğimiz ve kütle ile hızın çarpımı ile bulunan yeni bir kavram ortaya atmıştır. Kütle ne kadar büyükse, kuvvettin etkisi altında nesnenin hızının değişmesi o denli zordur. Belli bir zaman aralığında etkiyen ortalama kuvvetin, zaman aralığının büyüklüğü

19 "Voltaire to Pierre Louis Moreau De Maupertuis, October 1732", *Voltaire's Correspondence* içinde, Cilt 2, T. Besterman (der.), Voltaire Enstitüsü ve Müzesi, Cenevre, 1953, s. 382.

20 Cohen, *The Birth of a New Physics*, 7. bölümde geçtiği gibi.

ile çarpılması, söz konusu zaman aralığındaki momentumun değişimini verir. Bu nedenle nesnelerin bütün hareketlerini hesaplamak için sadece belli bir zaman anında nesnelerin konum ve hızlarını bilmek ve bu nesneler arasında bütün zaman anlarında etkiyen kuvvetleri bilmek gerekir.

Newton hareket için, kütle çekimi yasası olarak bilinen dördüncü bir yasa daha getirmiştir. Bu yasa, nesneler arasında etkiyen fiziksel cekim kuvvetini yöneten yasadır. Bu kuvvet tek bir matematiksel ifade ile tanımlanır: Nesnelerin kütlelerinin çarpımının bir sabit ile çarpılması ve aralarındaki mesafenin karesine bölünmesi.

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Bu ifade nesnelerin ne olduğu, nerede olduğu ve birbirlerinden ne kadar uzakta olduğuna bakılmaksızın geçerlidir.

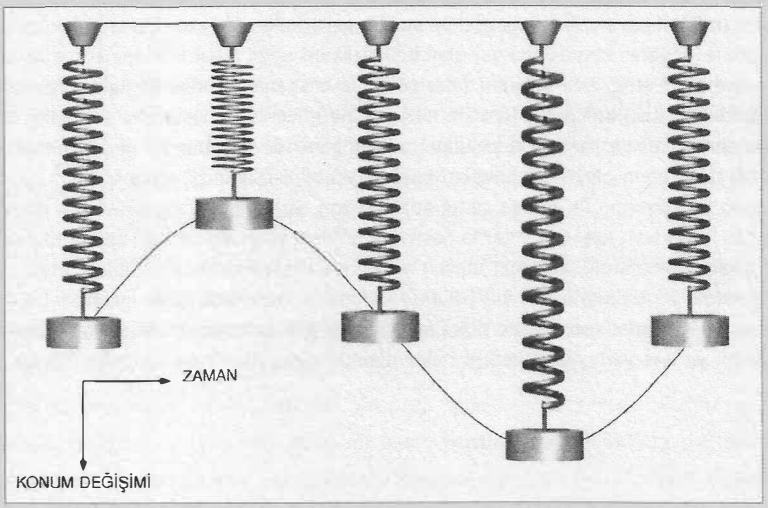
Newton mekaniği veya klasik mekanik adı verilen bilimde bu yasalar, farklı formlarda detaylandırılarak farklı olaylara uygulanır. Katı, sıvı ve gaz halinde bulunan kütlelere, dairesel, dönen veya titreşen nesnelere, mermilerin, sarkaçların veya dalgaların hareketine ve pek çok kütleden meydana gelen karmaşık sistemlere uygulanır. Atomlara ve galaksilere dahi uygulanmıştır. Newton mekaniği, ne kadar basit veya karmaşık olduğuna bakılmaksızın, hareketlerin matematiksel olarak tanımlanmasına olanak sağlar.

Newton dönemi doğadaki sürekliliklere dikkat çeker. Ancak o zamandan bu zamana pek çok asi bilim insanı, süreksizliklerin ve düzensizliklerin aslında doğanın temelinde yattığını söylemiştir. Newton, (ve Newton'la hemen hemen aynı zamanda aynı fikri ortaya atan ezeli rakibi Leibniz), Newton dünyasının matematiksel temel aracı olan ve sonsuz küçük büyüklükler kavramına dayanan kalkulusu keşfetti. Bu aracın uygulandığı doğanın da aracın kendisi gibi davrandığını kabul etti. Newton, "Doğa ani sıçramalar yapmaz" diye ilan etti. Eğer yapsaydı, bu durumda hangi ölçekten söz ettiğimiz önem arz ederdi ve bu nedenle kalkulusun uygulama alanı (dolayısıyla da klasik mekaniğinin içeriği) sınırlı hale gelirdi.

Newton'un dünyası, insan mizacı ve menfaatlerinden uzak sade ve soyut bir dünyadır. Avizelerden trapezlere salınım hareketi yapan her şeyin sarkaç olduğu, sporların ve dans hareketlerinin F=ma denkleminin kesitleri olduğu, bütün topların elastik ve bütün uçakların sonsuza dek hareketini sürdürdüğü bir dünyadır. Bu dünyada hareketinizi nerede yapıyorsanız yapın (hatta ebatlarınız büyüse veya küçülse bile) hareketin kuralları hep aynı kalır. Bu dünyada ne olacağını ve ne olmuş olduğunu çözmek istiyorsanız yapmanız gereken şudur: Kütleleri, kuvvetleri ve konumları belirleyin, uygun yasaları uygulayın ve kalkulusun kolunu çevirin. Bu kol, diferansiyel denklem adı verilen özel bir araç ile işler. Diferansiyel denklemler, sürekli değişim halinde olan hız ve konum veya kuvvet ve momentum gibi fiziksel özellikler arasındaki ilişkiyi tanımlar. Bu özel dilde, x ile tanımlayabileceğimiz konumdaki küçük bir değişim dx ile veya t ile tanımlayabileceğimiz zamandaki küçük bir değişim ise dt ile sembolize edilir. Bu küçük değişimler giderek küçülerek sıfıra yaklaştırılır. Bu nedenle hızın, zamana bağlı olarak konumdaki değişim miktarı diye tanımlanması $v = dx/dt$ şeklinde gösterilir. Benzer şekilde ivme meydana getirmek için uygulanan kuvvet ise $F = dp/dt$ şeklinde gösterilir (p momentuma

karşılık gelir ve $p=mv$ ile gösterilir). Son derece basit ancak önemli bir örnek olarak hafif bir yayın ucuna takılmış bir kütleyi verebiliriz. Bu örnekte ataleti kütle ile bağdaştırabiliriz: $dx/dt = v$, $dp/dt = -kx$. Bu denklemde k yay sabiti olarak adlandırılır ve yayın ucuna takılı kütlenin denge noktasından uzaklaşma miktarı ile yayda meydana gelen karşı koyma kuvvetinin arasındaki oranı ifade eder.

Bu örnekteki yaya ideal yay adı verilir (veya Hook yasası yayı - Newton'un bir diğer rakibi Robert Hooke'a atfen). Çünkü gerçek bir yay uzarken onu eski haline getiren kuvvet zayıflar ve bu nedenle uzaklaşma ile kuvvet arasındaki oran korunmuş olmaz. Her yay belli bir miktar sürtünmeye maruz kalır. Ancak ideal bir yay halen geçerli bir tahmin yapmamızı sağlar ve hareketi de son derece anlaşılması kolaydır. Yayın hareketi zamanla değişir ve bu değişimin miktarı trigonometrik bir fonksiyon gibi davranır. Açının sinüs değerinin zamanla değişimi şeklinde düşünülebilir.



Hook yasası, ideal bir yaya takılı halde bulunan bir kutlenin zamana bağlı sinüzoidal hareketini gösterir.

Principia'nın ardından geçen yüzyıllarda bilim insanları, Büyük Tasarım'da yer bulması gereken yeni fenomenler keşfettiler. Elektrik bunlardan biriydi. Fransız bilimci Charles Coulomb ve diğerleri, Newton'un evrensel çekim yasasını taklit ederek elektrik çekme ve itme kuvvetini incelediler. İki elektrik yük veya iki manyetik kutup arasında etkin olan kuvvetin, yüklerin çarpımı ile doğru orantılı ve yine aralarındaki mesafenin karesi ile ters orantılı olduğunu buldular. Bütün kütleler pozitif iken elektrik yükleri veya kutuplar pozitif veya negatif de olabiliyordu. Bu ise kütle çekiminin her zaman çekme etkisinde olmasına karşın, aynı yüklerin veya kutupların itme ve zıt olanların ise çekme etkisi meydana getireceği anlamına geliyordu. Herhangi bir büyüklüğün zaman ve

mekân içinde her bir noktada bir değer alacağı anlamına gelen alan kavramı Newton mekaniğinin gücünü büyük ölçüde artırmıştı. Hareket halindeki elektrik yüklerinden oluşan akımların dönel manyetik alanlar oluşturduğunu gösteren bilim insanları, elektrik ile manyetizma arasında bir ilişki kurmayı başardılar. İngiliz bilimci James Clerk Maxwell, değişen elektrik alanlarının aynı şekilde değişen manyetik alanlar oluşturduğunu fark etti. Ardından elektromanyetik fenomenlerle ilgili bilinen bütün bilgileri bir araya getirdikten sonra şaşırtıcı bir sonuca vardı: Işık, elektromanyetik dalgalardan başka bir şey degildi! Bütün bu gelişmeler, kuvvetlerin etkisi altındaki kütlelerin ne kadar ivmelendiğini veya hızlarını nasıl değiştirdiğini izah eden Newton mekaniğinin formülasyonuna kolayca uydu. Bütün bu yeni fenomenler Büyük Tasarıma sorunsuz bir şekilde uyuyordu ve hepsi diferansiyel denklemlerle tanımlanabiliyordu.

Evren, tam olarak çalışan saat benzeri bir mekanizma degildi. Çünkü bilim insanları, dünyada rastgele gibi görünen olayların da var olduğunu gördüler. Jeoloji, termodinamik ve gazların davranışı gibi alanlarda çalışan bilim insanları, tersinir olmayan etkileşimleri ve belirsizlikleri ele alabilen metotlar ve araçlar geliştirdiler.[21] Fakat bunlar, ontolojik belirsizlikleri (doğanın kendisinde var olan belirsizlikler) değil fakat felsefecilerin epistemolojik diye tabir ettiği belirsizlikleri (incelediğimiz nesnenin kendisi ile ilgili bilgimizdeki belirsizlikler) ihtiva ediyordu. Newton mekaniğine güvenerek Laplace'ın söylediği üzere "Şans denen kelime, meydana geldiğini gözlediğimiz ve görünür bir neden olmaksızın birbirini takip eden olayların sebepleri hakkındaki bilgisizliğimizi" ifade eder.[22]

1900'de kuantum ilk ortaya çıktığında Newton mekaniğinin topraklarında dünyaya gelmişti. Işığın bazı özel durumlarda nasıl davranması gerektiği ile ilgili beklentilerde ortaya çıkan sapmalardan sorumlu olması sayesinde keşfedilmişti. Kuantum dünyası, ancak Newton dünyasının içinde bir yerlerde bulunuyor olabilirdi. Bilim insanları bir süre, o güne kadar keşfedilmiş bütün diğer fenomenler gibi kuantumun da Büyük Tasarımın içinde bir yerlere yerleştirilebileceği beklentisinde oldu. Ancak sonuç onlar için bir şok oldu.

21 Brush, "Irreversibility".
22 Brush, "Irreversibility", s. 611.

İKİNCİ BÖLÜM

Pikselli Dünya

1967'de roman yazarı John Updike, 22 Kasım 1963'te Dallas Texas'ta bulunan Delay Plaza'da çekilmiş ve başkan John F. Kennedy'nin konvoyunun geçişi sırasında bir suikastçının mermisiyle vurulduğu anları kayda alan fotoğraflar ve amatör görüntüler ile ilgili kısa bir yazı yazdı. Updike, "görüntü kareleri ne kadar yakından ve dikkatlice incelense o denli daha az mantıklı görünüyordu" diye yazmıştı. Güneşli bir gün olmasına rağmen elinde açık şemsiyesi ile duran "şemsiyeli adam" kimdi? Ya da önce koşarak uzaklaşan daha sonra ise bir zenci tarafından sürülen Rambler marka arabanın içinde görülen kahverengili adam kimdi? Ya ateş edilen pencerenin hemen yanındaki camda bulanık görüntüde görülen kişi? Bunlar sadece orada bulunan masum insanlar mıydı yoksa komplonun bir parçası mıydı? Updike söyle yazıyordu:

> Merak ediyoruz, acaba burada gerçek bir sır mı saklı yoksa mekân ve zamanın bu denli hassas herhangi başka bir incelemesinde benzer tuhaflıklar ve belli koşullar altında boşluklar, tutarsızlıklar, bükümler ve balonlar yine ortaya çıkar mı? Maddenin temel taşlarında olduğu gibi belki bu tür bir incelemede, sağduyunun sınırları aşılıp yasaların artık dikkate alınmadığı, insanların beta parçacıkları kadar ömre ve nötrinolar kadar şeffaflığa sahip olduğu ve kaba bir istatistik ortalamanın mutlak gerçeğin yerini aldığı bir hal ortaya çıkıyor olabilir.[1]

1 John Updike, "Notes and Comment", *The New Yorker*, 9 Aralık 1967, s. 51.

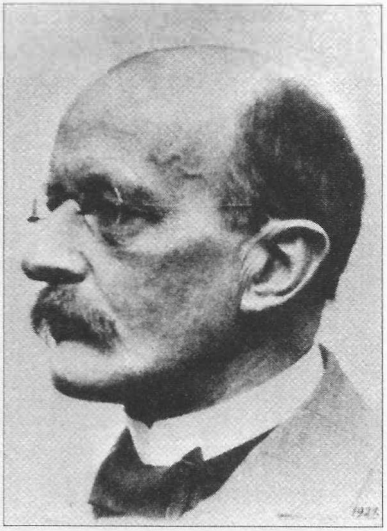
Yıllar sonra bu olaydaki pek çok karenin mantıklı izahının olduğu görüldü. Şemsiyeli adamın kimliği, en inatçı komplo teorisyenlerinin dışında herkesi ikna edecek şekilde belirlendi. Kendisi kongre komitesinin önünde ifade verdi ve Kennedy ailesinin İkinci Dünya Savaşı sırasında Hitler Almanyası ile olan münasebetlerini protesto etmek için siyah semsiye taşıdığını söyledi. İngiliz başbakanı Neville Chamberlin'in marka aksesuarı olan siyah şemsiye Nazi tavizcilerini sembolize ediyordu. Dünyanın mantıksal bütünlüğünü delmek bir yana, bu siyah semsiye sadece kafa karıştırmış küçük bir detaydı.

Ancak Updike'in tanımında bir gerçek vardı. Bilim insanlarının atom altı dünyaya tabiri yerindeyse kare kare baktıklarında, bütüne bakılmadığı sürece rastgele görünen, kesintili ve tuhaf olaylarla karşılaştıklarını biliyordu. Sıradan insanların, metafor olarak dahi olsa, yaşamın da benzer çılgın bir mantık takip ettiğini düşündüğünü de biliyordu. Dünyamız her zaman düzgün, sürekli ve yasalarca yöneltiliyor gibi görünmez. Yakından bakıldığında çoğu zaman dalgalı, süreksiz ve irrasyonel görünür. Günümüz dünyası Newton evreninin yumuşak geometrisine sahip olmaktan ziyade bir kabın içinde kaynayan suyun yüzeyi gibidir. Bu vaziyeti bir kuantum durumu olarak tanımlamak bilimsel olarak hatalı olabilir. Fakat Updike'e ve çok sayıda diğer yazar ve şaire göre bu bir metafor olarak uygundu. İki asır boyunca tutarlı ve etkili olan Newton dünyasının düzgün geometrisi nasıl olup da boşluklarla, tutarsızlıklarla, bükümler ve kabarcıklarla delinmiş hale gelmişti?

MAX PLANCK

Bu soruya cevap vermek için kuantum kavramını bilime kazandıran Max Planck'ın (1858-1947) yaşamına kısa bir geçiş yapmak gerekiyor. Son derece muhafazakâr bir kişiliğe sahip olan Planck'ın devrimci olmak gibi bir niyeti yoktu. Bakanlar'dan ve hukukçulardan oluşan bir aileden geliyordu. Titiz, dürüst ve sorumluluk sahibi insanlardı. Çalkantılı zamanlarda ayakta kalabilmek için fazla dikkat çekmemek gerektiğini öğrenmişti. Henüz altı yaşındayken memleketi Kiel'de işgalci yabancı askerlerin geçişini izlemişti. Elli yaşındayken Berlin'de Almanya'nın Birinci Dünya Savaşı'nı kaybedişini izledi. Yetmiş dört yaşında Berlin'deyken Naziler yönetimi ele geçirmişti. Çok sayıda kişisel trajediler yaşadı. En büyük oğlu Birinci Dünya Savaşı'nda ölmüştü. İkinci oğlu ise Naziler tarafından İkinci Dünya Savaşı'nda öldürüldü ve evi müttefik bombardımanları sırasında imha oldu. Kendisi Yahudi olmadığı halde Einstein gibi Yahudilerin heretik öğretilerini ders veriyor diye beyaz Yahudi ithamıyla saldırıya uğradı. Ancak Planck dikkat çekmeyen bir yaşam

sürmek suretiyle savaş süresince Almanya'da hayatta kalmayı başardı.[2]



Max Planck (1858-1947) (Emilio Segrè Görsel Arşivi).

Bilimsel anlamda Planck bir muhafazakârdı. Gençliğinde güçlü şekilde bilime yöneldi çünkü bilim, insan eylemlerinden bağımsız şekilde mutlak olan bir dünyayı öğrenmesine izin veriyordu. Bilim, çevresindeki tehdit edici dünyadan uzaklaşacağı ihtişamlı bir sığınak sunuyordu ona. "Mutlak olan bu dünyanın yasalarını aramak benim için hayattaki en ulvi bilimsel çaba oldu" diyordu yaşamının son dönemlerinde. Münih'te öğrenciyken profesörlerinden biri, bilimde artık neredeyse her şeyin keşfedildiğini ve geriye sadece kapatılması gereken birkaç küçük delik kaldığını söyleyerek bu ulvi çabadan vazgeçmesini tavsiye etmişti. Genç Planck yine de bu birkaç küçük deliği kapamaya ve tozlu köşeleri temizlemeye kararlıydı. Berlin'de lisansüstü öğrencisi iken dikkatini ısı, ışık ve enerji arasındaki ilişkileri inceleyen fiziğin alt dalı olan termodinamiğe yöneltti. Profesörleri bir kez daha bu alanın nerdeyse tamamlanmış olduğunu söyleyerek onun cesaretini kırmaya çalıştılar ancak o yine bu tavsiyelere aldırış etmedi. Planck'ın yeni keşifler yapmak gibi bir isteği yoktu. Sadece temelleri sağlamlaştırmak istiyordu. Planck'ı temel anlamıyla bir muhafazakâr olarak tanımlayan biyografi yazarı, "onun etkileyici yanı, geleneksel değerleri uygularken ve muhafaza ederken, o anki geçerli gerçeklere adapte olup onları yönlendirebilme yeteneğinde yatıyor" demişti.[3]

Ne kadar ironiktir ki bilimin kopuk uçlarını birleştirme niyetinde olan bu adam, bilimin en derindeki temellerini sarsacak bir fikir ortaya atacaktı! Bunları, 1887'de dünyanın ilk ağırlık ve ölçü laboratuvarı olarak açılan Alman Standartlar Bürosu'ndaki çalışmaları sırasında gerçekleştirdi. Yeni ortaya çıkan elektrik endüstrisinin ihtiyaçları her geçen gün artıyordu ve Alman

2 Planck'ın Nazi rejimi altında bilimi korumaya çalışması: Philip Ball, *Serving the Reich: The Struggle hr the Soul of Physics under Hider*, Random House, Londra, 2013.

3 J. L. Heilbron, *The Dilemmas of an Upright Man: Max Planck as Spokesman for German Science*, University of California Press, Berkeley, 1986, s. 3; H. Kragh, *Quantum Generations: A Hirtory of Physics in the Twentieth Century*, Princeton University Press, Princeton, 1999; T. S. Kuhn, *Black-Body Theory and the Quantum Discontinuity 1894-1912*, Clarendon Press, Oxford, 1978.

hükümeti standartlar bürosundan ampuller için yeni bir derecelendirme sistemi geliştirmesini istemişti. Bunu yapabilmek için bilim insanlarının, maddelerin üzerlerine düşen bütün ışığı yutup ve ardından fizik yasalarının müsaade ettiği ölçüde renklerin en eşit dağılımlı olduğu halde ışığı geri yaymasının nasıl gerçekleştiğini analiz etmesi gerekiyordu. Bu özel koşullara sahip maddeler (ışığı en iyi yutabilen maddeler) Planck'ın hocası Gustav Kirchhoff (1824-1887) tarafından "kara cisim" olarak isimlendirilmişti. Bu nedenle Alman hükümeti, büroda görevli bilim insanlarına kara cisim ışımasını incelemeleri talimatını vermişti. Bu ışımanın normal spektrumunu tanımlayan formülü üretmeleri gerekiyordu. Işımanın şiddetinin ve frekansının sıcaklıkla nasıl değiştiği çözülmeliydi.

1892'de Berlin Üniversitesi'nde Kirchhoff'un yerine geçen Planck bu problemi sevmişti. Öncelikle ülkesinin menfaatine olan bir konu üzerinde çalışmakla sivil vatandaşlık görevini yerine getirmiş olacaktı. Öbür yandan, söz konusu problem önceki çalışmaları ile alakalı olduğundan, bu konuda çalışmaya hazırlıklıydı. Son olarak, parlamanın maddenin sadece sıcaklığı ile bağlantılı olduğu ve kimyası ile bağlantılı olmadığı gerçeği, geliştirilecek çözümün temel bir çözüm olacağını öne sürüyordu. Kütle çekiminin, nesnelerin sadece kütlesi ile bağlantılı olduğu ve nesnelerin kimyası ile bağlantılı olmadığı gerçeğinin bu kuvvetin temel doğasına işaret etmesi gibiydi bu durum. Planck "mutlak olanın araştırılmasını her zaman bilimin en ulvi hedefi olarak gördüğüm için sabırsızlıkla işe koyuldum" diye yazmıştı.[4]

Planck, maddelerin ışığı belli bir miktar enerjinin tamsayı katları halinde seçici bir şekilde yutup geri yaydığını varsayması halinde Standartlar Bürosu'nun verileri için uygun bir formül geliştirebileceğini gördü. Bu belli miktar enerjiyi $h\nu$ ifadesi ile formülize etti. Formüldeki h sabiti, günümüzde onun adını taşıyor ve Planck sabiti olarak adlandırılıyor. Formüldeki v ise ışımanın frekansına karşılık geliyor. Eğer enerjiyi E ile ve tamsayı katlarını da n ile gösterirsek, Planck'ın ışıma formülü olan $E = n\,h\nu$ denklemini yazabiliriz. Planck, bu varsayımı sırf çaresizlikten dolayı yaptığını söylemişti. Bunun bir izah olmadığının ve sadece matematiksel bir hile olduğunun farkında olan Planck bu fikrin nihayetinde terk edileceğini düşünmüştü. Yine de o an için mutlu olmuştu çünkü formülü işe yarıyordu.

Çok az insan Planck'ın fikrini dikkate aldı. Sadece beş yıl sonra, bu istisnalardan biri, ismi duyulmadık Albert Einstein adında yirmi altı yaşında bir

4 Max Planck, *Scientific Autobiography and Other Papers*, Williams & Norgate, Londra, 1950, s. 34-35.



Kara cisim ışıması terimi, Franklin W. Olin Mühendislik Üniversitesi öğrencilerinin inşa ettiği robotik teknenin gövdesinde yeni bir kullanım alanı buldu.

patent memuruydu. Nihayetinde Nobel ödülünü kazanacak olan fotoelektrik olayı hakkında yazdığı ünlü makalesinde Einstein, ışık enerjisinin de h sabitinin katları şeklinde var olduğunu söyleyerek Planck'ın formülüne izah getirmişti. Işık enerjisinin kuantası daha sonra foton olarak anılacaktı.

Özetle kuantum, Planck'ın zannettiği gibi bir matematiksel hile değil, fakat fiziksel bir gerçeklikti. Einstein'ın bir arkadaşına gururla yazdığı gibi bu "bir devrimdi".[5]

Çok azı Einstein'ın fikrini ciddiye aldı. Fakat 1910'a gelindiğinde fizikçilerin kuantuma olan ilgileri bir derece daha artmıştı. Bunun bir nedeni, kuantumu tamamen elimine etme veya onu klasik fizikle birleştirme çabalarının başarısızlıkla sonuçlanmasıydı. Kuantum, molekül teorisinden katılarda ısı geçişine kadar pek çok alanda yeşermeye başlamıştı. Bilim insanları ne zaman

5 Albert Einstein to C. Habicht, May 1905, in *The Collected Papers of Albert Einstein*, Cilt 5, No. 28, çev. A. Beck, Princeton University Press, Princeton, 1995, s. 21.



Kuantum teorisi hakkında yapılan Birinci Solvay Konferansı, 1911, Brüksel. Soldan sağa oturanlar: Walther Nernst, Marcel Brillouin, Ernest Solvay, Hendrik Lorentz, Emil Warburg, Jean Perrin, Wilhelm Wien, Marie Curie, Henri Poincaré. Soldan sağa ayakta duranlar: Robert Goldschmidt, Max Planck, Heinrich Rubens, Arnold Sommerfeld, Frederick Lindemann, Maurice de Broglie, Martin Knudsen, Friedrich Flosenohrl, G. Hosteler, E. Herten, James Jeans, Ernest Rutherford, Hake Kamerlingh-Onnes, Albert Einstein, Paul Langevin (Fotoğraf: Benjamin Couprie. AIP Emilio Segrè Görsel Arşivi).

atom altı dünyaya baksalar, her köşede karşılarına hep o çıkıyordu. Enerji sadece ve sadece *hv* değerinin tam katları şeklinde var olabiliyordu. Uygunsuz olacağını bildiğiniz halde her davete çağırmak zorunda olduğunuz bir misafir gibiydi sanki.

1911'de 26 önde gelen bilim insanından oluşan bir grup kuantum teorisi hakkında düzenlenen bir zirve toplantısı için Brüksel'de bir araya geldi.[6] Belçikalı sanayici Ernest Solvay'ın ismi verilen bu toplantı Alman fizikokimyacı Walter Nernst tarafından organize edildi. Nernst, kuantum fikrini ilk başlarda gülünç diye nitelendirerek reddetmiş fakat sonra kaçınılmaz olduğunu kabul etmişti. Nernst "kuantum teorisi o denli kullanışlı olduğunu göster-

6 Birinci Solvay Konferansı'na 21 önde gelen Avrupalı fizikçi katıldı: 7'si Almanya'dan (Nernst, Planck, Wien ve Rubens dahil), 2'si İngiltere'den (Rayleigh-Jeans yasasındaki Janes de dahil), 6'sı Fransa'dan (Henri Poincaré ve tek kadın katılımcı Madame Curie dahil), 2'si Avusturya'dan (o zamanlar Avusturya-Macaristan İmparatorluğu'nun parçası olan Prag'da bulunan Einstein dahil), 1'i Belçika, 2'si Hollanda ve 1'i de Danimarka'dan.

miştir ki, onu ciddiye almak ve dikkatli bir incelemeye tabi tutmak bilimin vazifesidir" diye yazmıştı.[7] Kuantum fikrinin yeterince çok insan tarafından ciddiye alınmadığından endişelenmiş olan Planck özellikle heyecanlıydı. "Son 10 senede fizik biliminde hiçbir şey beni bu denli teşvik etmiş, heyecanlandırmış ve rahatsız etmiş değil" diye yazmıştı.[8] Planck, toplanan kalabalığa kuantum teorisinden çıkarılacak dersi; "görünüşe göre klasik fizik, kaba algılarımızın erişimine doğrudan açık olmayan fiziksel olayları açıklayamayacak kadar dar"[9] sözleri ile ifade etmişti. Dünyanın en azından bu bölgesinde, alışageldiğimiz Newton yasalarından farklı kurallar geçerliydi.

İLK ULUSLARARASI İLGİ

Bir kuantum zirvesi olan 1911 Solvay Konferansı, haberi Almanya'nın sınırlarının ötesine bütün Avrupa'ya yaymak suretiyle kuantumun saygınlık kazanmasında bir dönüm noktası oldu. İngiliz bilimci Ernest Rutherford öğrendiklerini beraberinde İngiltere'ye götürdü ve Niels Bohr adında Danimarkalı genç ve dalgın bir ziyaretçi ile paylaştı. Fransız bilimci Henri Poincaré o kadar heyecanlanmıştı ki 1912'deki ölümünden önce kuantumla ilgili altı makale yayınladı ve seminerler verdi. "Kuantum Hipotezi" yazısında, basit bir çarpışma olayı gören bir kişi (elmanın yere düşmesi gibi dahi olsa) bunun süreksiz bir olay olduğunu düşünür. Fakat bilim bizlere bunun bir illüzyon olduğunu gösterdi. Süreksizlik gibi görünen şey aslında birbirine karşı koyan kuvvetlerin sürekli fakat hızlı değişiminin sonucudur. Benzeri bir şey kuantumda oluyor ve bizler aslında yeterince dikkatli şekilde gözleyemiyor olabilir miyiz? "Şu anda bu sorulara cevap vermeye kalkışmak ancak kâğıt ve mürekkep israfı olur."[10]

Amerikalılar şüphe içindeydi. Amerika Birleşik Devletleri o zamanlar fiziğin arka suları konumundaydı ve Amerikalı fizikçiler teoriye dikkatli yaklaşmayı tercih eden deneysel fizikçilerdi. Rölativite teorisine direnmişler ve

7 Max Jammer, *The Conceptual Development of Quantum Mechanics*, McGraw-Hill, New York, 1966, s. 59.

8 Guido Bacciagaluppi ve Anthony Valentini, *Quantum Theory at the Crossroads. Reconsidering the 1927 Solvay Conference*, Cambridge University Press, Cambridge, 2009, s. 4.

9 Jammer, *Conceptual Development*, s. 54. Jammer, bu ifadenin klasik mekaniğin evrensel anlamda geçerli olduğu düşüncesinden vazgeçmeye yönelik belki de ilk açıklama veya ilk açıklamalardan biri olduğunu söyler. Bu dahi tek başına söz konusu konferansı bilim tarihinde dönüm noktası niteliğinde bir olay yapar.

10 Henri Poincaré, "The Quantum Theory", *Mathematics and Science, Last Essays* içinde, çev. J. W. Bolduc, Dover, New York, 1963, s. 88. Ayrıca bkz. Russell McCormmach, "Henri Poincaré and the Quantum Theory", ISIS 58, 1967, s. 37-55.

kuantum teorisine daha da büyük bir şüphe ile yaklaşmışlardı.[11] Bu şüphelerin nedeni sadece inatçılık değildi. Bilim insanlarının çekingen olmasının nedenleri vardı. Fizik tarihçisi Katherine Sopka'nın yazdığı gibi "Klasik fizik, açıklayabildiği olayların geniş kapsamı ve kendi iç yapısının güzelliği sayesinde her ulustan fizikçi için güçlü bir cazibe sunuyordu. Kuantum fiziği ise aksine, kafa karıştırıcı görünüyor ve nispeten az sayıda mesele için kullanışlı gibi görünüyordu."[12] Alman kuantum fizikçisi Wolfgang Pauli on yıl sonra dostu Werner Heisenberg'e "klasik fiziğin muhteşem bütünlüğüne çok aşina olmayan biri için yolunu bulmak daha kolay" demişti.[13] Klasik fiziğin zarafetine, güzelliğine, tahmin edilebilir ve evrensel oluşuna cezp olmuş olan Amerikalı fizikçiler, bunun aksine çirkin, tuhaf, beklenmedik ve çok özelleşmiş olan bu sonradan gelme teoriyle mücadele etmeye çalışıyorlardı. 1915'ten kalma ve görünüşe göre bir öğrenci sunumundan alıntı olan şu cümleler, Amerikalıların olaya bakış açısını açıkça ortaya koyuyordu:

> Kuantum teorisinin oldukça tatsız olduğu konusunda hepimizin aynı fikirde olduğunu sanıyorum. Bu teoriyle çalışırken bizi yönlendiren kesin bir mekanik tabloya sahip olmadığımız gibi olaylara temel oluşturacak açık ve kesin prensiplere de sahip değiliz. Her yerde fizikçiler bu teoriden kaçış metodu bulmak için yoğun çaba içindeler. Böyle bir metot bulunulabilirse sanırım hepimiz derin bir nefes alabilir ve artık geceleri daha rahat uyuyabiliriz.[14]

Şikago Üniversitesi'nden Robert A. Millikan (1868-1953) meslektaşlarının daha rahat uyuması için yardım etmekte kararlıydı. Kendisi de bilimsel anlamda muhafazakâr görüşe sahipti. Yayımlanmasının ardından on yıl sonra dahi Einstein'ın rölativite teorisini kabul etmemiş ve Michelson-Morley deneyi ile yanlışlanmış olan eterin varlığına inanmaya devam etmişti. 1912'de Avrupa'da altı ay geçirip Planck ile tanışmış ve seminerlerine katılmış, ancak kuantum teorisine son derece şüpheyle yaklaşmıştı. Millikan hırslıydı ve geleneksel deneyci yaklaşımıyla sahte şövalyeyi atından indirip kuantum fikrini öldürebileceğini düşünüyordu. Einstein'ın 1905 makalesindeki öngörüleri test edebilmek için laboratuvarını son teknoloji cihazlar ile yeniledi. Bu öngörüle-

11 Örnek için bkz. Maila L. Walter, *Science and Cultural Crisis: An Intellectual Biography of Perry Williams Bridgman (1882-1961)*, Stanford University Press, Redwood City, CA, 1991, s. 81.

12 Katherine Sopka, *Quantum Physics in America, 1920-1935*, American Institute of Physics and Tomash Publishers, New York, 1976, s. 39.

13 Werner Heisenberg, *Physics and Beyond, Encounters and Conversation*, Harper & Row, New York, 1971, s. 26.

14 Sopka, *Quantum Physics in America*, s. 35: Görünüşe göre bu kısım, Kemble'nin makalesinde bulunan bir öğrenci sunumunun başlangıç bölümüdür.

rin bazıları halihazırda test edilmiş ve pozitif sonuç vermişti. Ancak Millikan, yapılacak daha hassas ölçümlerin farklı bir senaryo ortaya koyacağından emindi.

Deneylerinin Einstein'ın her öngörüsünü doğruladığını gören Millikan şok olmuştu. İçinde bulunduğu hayret ve dehşeti, deney sonuçlarını anons eden makalesinde görmek mümkün. Einstein'ın dahi kendi teorisine ilk başta inanmadığını duyduğunu söyleyerek okurlarını teselli etmeye çalıştı. Nihayetinde, Einstein'ın kuantum teorisinin fotoelektrik olayını son derece dogru şekilde tarif edebildiği sonucuna varmak zorunda kaldı.[15]



Robert A. Millikan (1868-1953) (AIP Emilio Segrè Görsel Arşivi).

Atom altı olayların izahında kuantum teorisi kendini göstermeye devam etti. Doktora tezinde klasik fiziğin metallerin elektromanyetik özelliklerini açıklayamadığını göstermek suretiyle kuantum teorisine ilgi duymuş olan Danimarkalı fizikçi Niels Bohr, 1913-14'te bu teoriyi atomlara uyarlayarak atom fiziğinde büyük bir çığır açtı (bkz. Üçüncü Bölüm). Klasik teori, yörüngede dolanan elektronların enerji yaymak suretiyle çekirdeğe düşmesi gerektiğini öngörüyordu. Bohr, elektron yörüngelerinin sadece $h/2\pi$ ile gösterilen yeni bir doğal birimin katları miktarında açısal momentuma sahip olabileceğinin kabul edilmesi durumunda, gezegenlerin Güneş etrafındaki yörüngeleri misali elektronların da atom çekirdeği etrafında sonsuz sayıda muhtemel yörüngeye sahip olamayacağı sonucuna vardı. Bu sonuç deneylerle çarpıcı bir şekilde doğrulandı. Aynı dönemlerde keşfedilmiş bir diğer olay, spektral çizgilerin bir elektrik alan tarafından kesintili hale gelmesiydi. Stark etkisi diye anılan bu olay 1913'te keşfedilmiş ve 1916'daki bir makalede kuantum teorisi ile açıklanmıştı. Bu makalede "görünüşe göre kuantum teorisinin verimliliği mucize sınırlarına dayandı ve orada sona ermiş gibi de görünmüyor" deniyordu.[16] Bilim insanlarının ifadesiyle kuantum, artık canlı bir bebeğe dönüşmüştü.[17]

15 Robert Millikan, "Einstein's Photoelectric Equation and Contact Electromotive Force", *Physical Review* 7, 1916, s. 18. Ayrıca bkz. G. Holton, "R. A. Millikan's Struggle with the Meaning of Planck's Constant", *Physics in Perspective* 1, No. 3, 1999, s. 231-37.

16 Paul Epstein, *Physikalische Zeitschrift* 17, 1916, s. 148; *Annalen der Physik* 50, 1916, s. 489.

17 Paul Heyl, *New Frontiers of Physics*, D. Appleton, New York, 1930, s. 67.

Millikan'ın deneyi kuantum teorisinin kabul edilirliği için bir dönüm noktası teşkil etti. Bilim tarihçisi Max Jammer'ın yazdığı gibi; "kuantum etkisi, deneyle tespit edilebilen fiziksel bir gerçekliğe dönüştü ve Einstein'ın ışık kuantası bağıntısı, bilimsel önem ve deneysel temel ile donandı".[18] Yine de ışık kuantası fikrinin genel kabul görmesi bir on yıl daha aldı.

TESELLİ KUANTUMU

Bütün bu tartışmalar fizik toplumunun içinde kaldı ve dışarıya çok fazla yansımadı. Günlük konuşma dilinde kuantum, miktar anlamına gelen geleneksel manasında kullanılmaya devam etti. Bu miktar büyük veya küçük, hatta ihmal edilebilecek bir büyüklük olabileceği gibi ticaret kuantumu, donanma gücü kuantumu veya iyi bir hayat için gereken servet kuantumu gibi insan yaşamının değişik alanlarına uygulandı. Kuantum terimi bazen Kuantum Meruit (hak edilen miktar) veya Kuantum Sufficit (yeterli miktar) gibi Latince formlarda da karşımıza çıktı.

Ian Fleming 1959'da *Cosmopolitan* dergisinde "Teselli Kuantumu" adında kısa bir hikâye yayınladı. Bu hikâye, eski bir donanma istihbarat memuru olan yazarın en iyi ve en hareketli hikâyelerinden biriydi. Fleming bu ciddi konulu hikâyeyi evliliğinin kötüye gittiği bir dönemde yazmıştı. Hikâyenin ana karakteri olan Vali Nassau gecenin geç vakti Bond'a, her iki tarafın en az belli bir miktar insanlığı muhafaza etmeleri halinde, insan ilişkilerinin en kötü felaketlerin dahi üstesinden gelebildiğini gösteren kalp sızlatan bir hikâye anlatıyor. Taraflar birbirlerine ilgi göstermeyi bırakır ve "teselli kuantumu" sıfıra inerse, bu durum sadece ilişkiyi bitirmekle kalmaz, tarafların birbirini mahvetmesine de sebep olur.

Fleming'in kuantum terimini kullanış şekli Planck'ın kullanışına yakındır. Bir şeyin kayda değer ve yapısal bir değişim meydana getirmeye yetecek kadar sonlu büyüklükte bir miktarı anlamındadır (bu hikâyenin başlığı 2008 yılında yayınlanan *James Bond* filmine isim olmuştur). Bu anlam, kuantumun matematiksel bir hile olmayıp fiziksel bir gerçeklik olduğuna ikna olan fizikçilerin kuantumdan daha sık söz eder olmasıyla birlikte 1916'da halk dilinde kendini göstermeye başladı.[19] 1918'de Nobel fizik ödülü, enerji kuantasını keşfederek fizik biliminin gelişimine sağladığı katkılarından dola-

18 Jammer, *Conceptual Development*, s. 36-37.

19 Örneğin 3 Nisan 1916'da Columbia Üniversitesi'nden Prof. George Pegram, New York City'de bulunan Amerikan Tarihi Müzesi'nde "Işığın Atomları Var mıdır? Kuantum Teorisi" başlıklı bir konuşma yapmıştır. Kuantum teorisi ile ilgili haberler genel kitleye ulaştıkça bu tür konuşmalardaki dinleyicilerin sayısı da zamanla artmıştır.

yı Planck'a verildi. 1919'da genel rölativite teorisinin öngörülerinin gözlemle teyit edilmesinin ardından Einstein'ın ismi büyük bir üne kavuştu. Einstein ve teorisiyle ilgili yazılan popüler yazılar kendisinin aynı zamanda kuantum teorisi üzerinde de çalıştığını belirterek bu teorinin statüsünün daha da yükselmesini sağladı.

Einstein'ın, fizik bilimine olan katkıları ve özellikle fotoelektrik olayının kurallarını keşfetmesinden, dolayısıyla kuantum teorisine de katkı yapmış olmasından dolayı 1922 Nobel ödülünü kazanmasıyla bu teorinin popülerliği daha da arttı. 1923 yılında Millikan, elektriğin temel yükü ve fotoelektrik etkisi ile ilgili yapığı çalışmalarından dolayı Nobel ödülünü kazandı. Basının eğitimli kesime hitap eden organları, giderek artan bir şekilde, Planck'ın fikrinin Newton'un tanımladığından farklı olarak sürekliliğe sahip olmayan bir dünya modeli ortaya koyduğunu söylüyordu. 1929'da çıkan *Manchester Guardian* gazetesinde şöyle diyordu: "h sabitinin katları halinde olmadığı sürece dünyada hiçbir olay gerçekleşemez. Örneğin, bir bifteği ısırırken harcadığınız enerji h sabitinin tam katları şeklinde ölçülmek zorundadır. Rastgele bir ısırma dahi olsa bu enerji, h sabitinin tam katlarından az bir miktar dahi farklı olamaz."[20]

Eğer Planck'ın ismi 1920'lerde ve 1930'larda ciddi gazeteciler tarafından dile getirilmiş olsaydı, bugün kendisi bir popüler kültür yıldızı olmuştu. Newton dünyasının temelindeki ilk çatlakları ortaya çıkaran pikselli dünyanın poster çocuğu olmuştu. Ortaya attığı $E= h\nu$ denklemi, insanlara tanıdık gelen birkaç denklemden biri olmuştur. Bu denklem, fizik mizahı alanında ödül kazanmış bir esprinin dahi konusu olmuştur.[21]

Planck'ın denklemi de ün kazandı ve tişörtlerde, kahve bardaklarında ve çeşitli spor imgelerinde kendini gösterdi. Bütün ünlü şeyler gibi, insanların büyük kısmı onu tanır ve önemli olduğunu düşünür ama neden öyle olduğunu bilmez. Yine bütün ünlüler gibi, insanların nazarındaki profili ve etkisi sosyal süreçler ile gelişir. Söz konusu süreç, denklemin bilim tarihindeki devrimsel rolünü anlatan popüler bilim kitapları ve makaleler ile işler.

Bazı gazeteciler ve yazarlar, Planck'ın çalışmasının sadece yeni bir bilimsel devir açmakla kalmadığı fakat yeni bir kültürel devir de açtığı konu-

20 *Manchester Guardian*, 23 Ocak 1929, s. 9.

21 Örnek olarak Mark Leyner'in 1992'deki *Et Tu, Babe* isimli romanında geçen ve General Lopez'in kimliği belirsiz kişilerce sorguya çekildiği aşağıdaki konuşmayı ele alabiliriz.

– General, son bir soru. Dövmeniz var mı?

– Evet efendim.

– Bedeninizin neresinde ve neyin dövmesi?

– Penis ucuna E=nhf (Max Planck'ın ışımadaki enerji formülü) dövmesini yaptırdım.

sunda ikna olmuştu. Örneğin, 1930'ların sonunda *New York Times* gazetesi "Bilimin Şaire İhtiyacı Var" başlıklı bir makale yayınladı. Makalenin yazarı, "titiz mühendislik anlayışı ile Newton evreni, 'mekanizmayı yüceltme' işlevi dışında sanatçılara yer bırakmamıştır" diye yazdı. "En azından taptıkları bu makine evren, bilim tarafından al aşağı edilmişti. Matematiksel fizik formunda bilim, her yeni keşif ile daha idealist hale geliyor. Bir zamanlar Yunan ve Latin şairler kendi zamanlarının bilimi hakkında bilgi sahibiydiler. Şimdiki şairlerimiz de aynı şekilde yapsalar iyi olur" diye yazıyordu *New York Times* ve şöyle devam ediyordu:

> Harikalar mı? Şairler onu Planck'ın teorisinde bulacaklardır. Öyle bir teori ki, ışıma olayını, dalgalar yerine mermilerden meydana geliyormuş gibi izah eder. Işık kuantası ve elektronlar, eski vicdansız neden-sonuç ilişkisi kuralına aldırış etmeden etrafta uçuşur durur ve sanki kendilerine özgür irade verilmiş gibi davranır. Periler artık eskisi kadar tuhaf değildir ve Aladdin'in lambası da eskisi kadar harikulade değildir. Madde, sadece bir hayalettir. Atomlar ise içinden ışımalar yayılan hayaletlerdir. Evren, öngörülebilir bir şekilde hareket eden bir makine degildir artık.[22]

"Dünya sanatçılar, şairler ve felsefeciler için yeni imkânlarla dolu" dedi ve şöyle devam etti *New York Times*: "Einstein, Planck, Schrödinger ve Heisenberg'in pınarından içecek, modern bir De Rerum Natura besteleyecek ve elektronun ve eğimli sonsuz uzayın içinde saklı güzelliği ve gizemi yorumlayacak yeni bir Lucretius'a ihtiyacımız var."

Kuantum günümüzde daha da büyük bir üne kavuştu ve sanatçılar ve felsefeciler için yeni ifadesel imkânların kapısını açtı. *De Rerum Natura*'nın güncellenmiş bir versiyonunu mümkün kılmanın çok daha fazlasını yaptı.

Elbette bunların hiçbiri Planck'ın aklından geçmemişti. Kendi bilimsel teorisinin sanat ve edebiyat üzerindeki etkilerine ait düşünceler, Planck gibi muhafazakâr bir adamı şaşırtır ve belki de utandırırdı. Hayatının son yılı olan 1947'de Planck, Londra'daki Kraliyet Topluluğu tarafından bir Newton kutlamasına davet edildi. Davet, büyük bir salonda veriliyordu ve özel bir görevli ayrıcalıklı davetlilerin isimlerini ve geldikleri ülkeleri yüksek sesle tek tek okuyordu. Planck, özel olarak davet edilmişti ve ismi listede yoktu. Bundan dolayı birden şaşıran görevli tökezledi ve "Profesör Max Planck, herhangi bir ülkeden değil!" diye uydurdu. Davetliler art niyetsiz güldü ve Planck'a büyük bir alkış verdiler. Neredeyse doksan yaşına gelmiş olan bu yaşlı adam, kendi-

22 "Science Needs the Poet", *The New York Times*, 21 Aralık 1930, s. 47.

sine yöneltilen sıcak alkışları kabul etmek üzere yavaşça ve tereddütle yerinden kalktı. Kraliyet Topluluğu mahcup olmuş halde Planck'ın ismini ertesi gün listeye ekledi. Ancak Planck, ülke tanımına "bilim dünyasından" ibaresinin konmasında ısrar etti.[23]

23 Paul Hartman, *A Memoir on The Physical Review: A History of the First Hundred Years*, AIP Press, Woodbury, NT, 1994, s. 43-44.

MAC PLANCK KUANTUMU SUNUYOR

> Bilim tarihinde fiziksel ve felsefi sonuçları bu denli geniş kapsama ulaşan göze çarpmamış matematiksel bir çıkarım daha olmamıştır.
> – Max Jammer, *Conceptual Development of Quantum Mechanics*

Kuantum dönemi ışığın davranışının incelenmesi ile açılmaya başladı. 19. yüzyılın sonlarında elektrik endüstrisi patlama yaşıyordu. Telgraflar on yıllardır kullanılıyordu ancak elektriğin pek çok yeni uygulaması ufukta görünmüştü. 1882'de Amerikalı mucit Thomas Edison Manhattan'da yaşayan birkaç düzine eve 110 voltluk elektrik iletebilen bir şebeke inşa etmekle prensip olarak elektriğin geniş çaplı dağıtımının mümkün olduğunu gösterdi. İki yıl sonra Anglo-İrlandalı mühendis Charles Parsons ilk buhar türbinini inşa etti ve onu bir elektrik jeneratörüne bağlamak suretiyle şebekeleri beseleyebilecek kadar çok elektriğin ucuza nasıl üretilebileceğini gösterdi.

Elektrik lambaları bu şebekeler üzerinde çalışabilecek pek çok farklı türde cihazdan biriydi. Bütün nesnelerin gözle görülen spektrumda ve ötesindeki frekans aralığında ısı ve ışık yayabiliyor olması elektrik lambalarının temelinde yatan prensipti. Gece görüş gözlükleri ve termal kameralar bu ışımanın algılanması esasına göre çalışır. Bu frekans aralıklarının belli profilleri vardır. Sıcaklık arttıkça yayılan ışıma belli frekans değerlerinde zirve yapar. Bundan daha yüksek frekanslara doğru hızla düşüş olurken daha düşük frekanslara doğru ise daha yavaş bir düşüş gerçekleşir. Ocaktan çıkmış bir demir kırmızı renkte parlar çünkü bulunduğu sıcaklıkta yaydığı ışığın büyük bir kısmı kırmızı bölgede zirve yapar. Sıcaklığı arttıkça daha yüksek frekanslara doğru daha keskin bir zirve meydana gelir. Neticede kırmızı yerine beyaz renkte ışıma olur. Bütün maddeler aynı sıcaklıklarda aynı renk spektrumlarında ışıma yapar. Bir odun parçası veya bir seramik parçası, aynı sıcaklıkta aynı renkte ışıma yapar. Elektrik lambası imalatçıları minimum miktarda enerji harcayıp maksimum miktarda beyaz ışık ışıması yaparak parlayabilecek ampuller üretmeye çalıştılar.

1880'lerde devletler, elektrik lambaları ve diğer elektrik ürünleri için standartlar geliştirip denetleyecek laboratuvarlar kurarak elektrik endüstrilerini dengeleyecek ve büyütecek adımlar attılar. Alman Standartlar Kurumu'ndaki bilim insanları kara cisim ışımasını ölçmek için özel fırınlar inşa ettiler ve yüksek frekanslarda ışık yayımı ve sıcaklık ile ilgili veriler topladılar. Kurumun teorisyenlerinden Wilhelm Wien (1864-1928) her bir sıcaklık değerinde yayılan elektromanyetik ışımanın profilini tanımlayan bir formül geliştirdi. Bu formüle göre yayılan ışığın şiddetinin sıcaklık ile arttığını gösterdi. Fakat bu artış bütün frekans değerlerine eşit olarak dağılmıyordu. Kısa dalga boylarına doğru bir kayma söz konusuydu.

Planck, Wien'in ortaya koyduğu formülden, işe yaramadığından değil fakat sadece tahmine dayalı olduğundan dolayı tatmin olmamıştı. Sıcaklıklar, yoğunluklar ve frekanslar neden bu şekilde bir ilişki içinde olmak zorundaydı? Sabit değerler neden oldukları belli değerlerde bulunmalıydı? Bu soruların cevabı termodinamiğin ve elektromanyeti-

ğin temel yasalarından elde edilecek mutlak cevaplar olmak zorundaydı. Cevabı bulmak için Planck, maddelerin ışığı nasıl yaydığı ve yuttuğunu geleneksel metotla modelledi. Bu modelde maddeler, Hooke yasasında tanımlandığı şekliyle farklı esnekliklere sahip yaylara takılı haldeymiş gibi salınım hareketi yapan elektrik yükleri ihtiva ediyordu. Salınım hızları, yani frekansları, yayların esneklik değerlerine bağlıydı. Madde enerji yuttuğu zaman salınım hareketi de daha enerjik oluyordu. Tersine, dışarı enerji verildiği zaman ise salınım hareketi azalıyordu. Maddenin farklı frekanslarda enerji yutup yayması hareketi, sonsuz sayıda değişik esnekliğe sahip yaylar ihtiva etmesi şeklinde düşünülebilirdi. 1899'da Planck, bu mantıktan yola çıkarak Wien'in yasasına ulaşabileceğini büyük bir heyecanla gördü.

Ancak sevinci kısa sürdü. 1900'ün başında, Alman Standartlar Kurumu'ndaki deney uzmanları daha uzun (kızıl ötesi) dalga boylarını ölçebilecek daha hassas fırınlar inşa etti. 7 Ekim'de deney uzmanı Heinrich Rubens, bu frekans aralığında Wien'in formülüne kıyasla biraz farklı sonuçlar elde ettiklerini Planck'a haber verdi. Rayleigh-Jeans formülü olarak da bilinen klasik formüle daha uygun şekilde spektral fonksiyon, Wien formülünden farklı olarak, sıcaklıkla daha orantılı görünüyordu.

Bazı bilimciler bu küçük sapmayı önemsemedi. Planck, Wien'in formülünün temel bir yasa olduğunu göstermişti ve bu nedenle sonuçlardaki sapmanın, hassas ölçümlerde ve yeni deney cihazlarında beklendik olan deneysel hata payından kaynaklandığından emindi. Fakat Planck, Rubens ve diğer araştırmacıların deney sonuçlarından emin olduğunu biliyor ve bilinmeyen bir faktörün sonuçlarda gözlenen sapmaya neden olduğundan şüpheleniyordu. Tekrar işe koyuldu ve 19 Ekim 1900'de Berlin Fizik Topluluğu'na sunduğu yeni bir formül geliştirdi. Planck meslektaşlarına; "Şu anda görebildiğim kadarıyla bu yeni formül, bugüne kadar yayınlanmış deneylerden elde edilmiş verilere uymaktadır" demişti. "Bu nedenle bugüne kadar ortaya atılmış formüller içinde en sadesi olan bu yeni formüle dikkatlerinizi çekmeme izin verin" diye ekledi.[24]

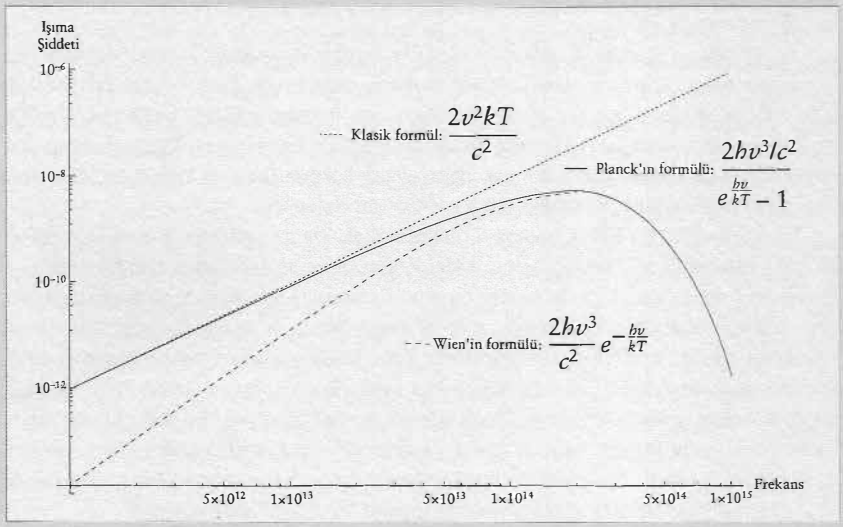
Planck'ın yeni formülünü tanıttığı gece Rubens de Berlin Fizik Topluluğu'nda bulunuyordu. Heyecanlı bir şekilde laboratuvarına dönen Rubens, formülü kendi ölçümlerinden oluşan verilerle kıyasladı ve uyumlu olduklarını gördü. Ertesi sabah haberi vermek üzere Planck'ı ziyarete gitti. Planck'ın formülüne tam uymuyor görünen sonuçlar elde ettiklerini rapor etmiş olan birkaç başka deney uzmanı, kısa zaman sonra deneylerinde hata yaptıklarını ve verilerin aslında Planck'ın formülü ile uyumlu olduğunu gördüler.

Planck halen tatmin olmamıştı. Kendi gözünde yeni formülü, Wien'in formülü ile aynı sorunlara sahipti. Bu formül halen "ampirik" bir formüldü. Yani gerçek fiziksel bir anlama sahip olmayan bir tahmindi.[25] Tekrar işe koyuldu. Kasım 1900'de, derin termodinamik bilgisini kullanarak modelinde salınım yapan birimlere enerjinin nasıl dağılmış olduğunu hesapladı. Bu şekilde formülünü temel fizik yasalarından yola çıkarak türetebileceğini umdu. Nobel ödülü sunumunda aktardığı üzere; "Hayatımda en yoğun çalıştı-

24 Max Planck, "On an Improvement of Wien's Equation for the Spectrum", *Annalen der Physik* 1, 1900, s. 730.

25 Max Planck, *Scientific Autobiography and Other Papers*, Philosophical Library, New York, 1949, s. 41.

ğım bir iki haftanın ardından karanlık kalktı ve beklenmedik bir manzara ortaya çıkmaya başladı."[26] Formülünü türetme çabasını "çaresizlikten yaptığım bir şeydi" diye tarif etti. Çünkü bedeli ne olursa olsun formülü için teorik bir izah getirmek zorundaydı.[27] Planck, N sayıda salınım hareketi yapmakta olan birime dağılmış olan E miktarda toplam enerjinin ε ile gösterilen "enerji birimlerinden" oluştuğunu keşfetti. Bu enerji biriminin değeri, basitce *h* ile gösterdiği doğaya ait yeni bir temel sabit ile orantılıydı. Madde ve maddenin yaydığı ışık etkileşimine ait mekanizmaya uyarlanmak için icat edilmiş sadece geçici bir çözümdü bu.



Kara cisim ışımasına ait öne sürülmüş üç yasa, frekansa karşı ışıma şiddeti grafiğinde görülüyor. Grafikte alttaki kesikli çizgi ile gösterilen Wien'in yasası yüksek frekanslarda salınan ışımalarla ilgili deneysel verilere uyuyordu. Işımanın, sıcaklık arttıkça grafiğin sağında görüldüğü üzere nasıl belli bir frekansta zirve yaptığını açıklıyordu. Grafikte üstteki kesikli çizgi ile gösterilen klasik formül verilere uymuyordu ancak grafiğin solunda kalan düşük frekanslı verileri izah edebildiği kabul ediliyordu. Grafikte kesintisiz çizgi ile gösterilen her ikisini birbirine bağlayan Planck'ın formülü, ne çok büyük ne de çok küçük olmamakla en ideal olanıdır. Planck ilk başlarda bu formülü, düşük frekanslarda klasik yasa ile yüksek frekanslardaki Wien yasasını birleştirebilen ancak üzerinde araştırma yapılması gereken matematiksel bir hile olarak kabul etti.

Yeterince yüksek frekanslarda paydada yer alan 1 terimi, formüldeki büyük üstel terime kıyasla ihmal edilebilir bir terimdir. 1 terimi ihmal edildiğinde, paydada bulunan

26 Max Planck, *The Origin and Development of the Quantum Theory*, Nobel Prize Lecture, 1922.

27 Max Planck'tan R. W. Wood'a, 7 Eylül 1931. A. Hermann, *The Genesis of Quantum Theory (1899-1913)* içinde, çev. C. Nash, MIT Press, Cambridge, 1971, s. 23.

üstel terim bu defa üstü negatif olan bir üstel terim halinde paya yazılır ve nihayetinde Wien'in formülünün aynısı elde edilmiş olur. Küçük frekanslar için paydadaki üstel terim 1'e yaklaşmaya başlar ve paydadaki terimlerin farkı önemli hale gelir. Bu fark, *hv/kT* değerine yaklaşık bir değer olarak alınabilir. Bu durumda *kT* faktörü paya geçmiş şekilde yazılabilir ve kuantum etkilerinin olmadığı klasik formül elde edilmiş olur. Planck 1900'de bunun tam farkında degildi belki. Planck'ın formülü en azından, düşük frekanslarda klasik fizik ile yüksek frekanslarda Wien'in yasası arasında enterpolasyon yapıyordu. Tarihçi Max Jammer; "Bu enterpolasyon, matematiksel olarak önemsiz gözükse de, fizik tarihinde yapılmış en kayda değer ve önemli katkılardan biriydi."[28]

Planck, 14 Aralık 1900'de formülünü Berlin Akademisi'nde sundu. Burada geçen anahtar bir cümlede "Planck sabiti" ifadesi yazılı halde tarihte ilk defa kullanıldı.

> Burası hesaplamanın en önemli noktasıdır ki, *E* değerinin tam olarak tanımlanmış belli sayıdaki eşit parçalardan oluştuğunu kabul ediyoruz ve bu nedenle doğadaki $h = 6.55 \times 10^{-27}$ erg sabitini kullanıyoruz. Bu sabit, salınım hareketi yapan birimlerin ortak frekansı olan v değeri ile çarpılması sonucu enerji birimi olan değerini erg cinsinden elde ederiz. *E* değerinin değerine bölünmesiyle enerji birimleri için *P* değerini elde ederiz. Bu değer *N* adet salınım yapan birime paylaştırılmalıdır.[29]

Bu son cümle, Planck enerji formülü olarak bilinen ve $\varepsilon = hv$ olarak yazılan (ya da *nhv*, temel miktarın *n* katı) denklemini kelimeler ile ifade etmektedir. Bu denklem, dünyayı yapılandıran en temel denklemlerden biridir.

Belirtilen paragrafta veya makalesinin başka herhangi bir yerinde Planck, ortaya attığı fikirleri için "kuantum" terimini kullanmaz. Bu terimi makalesinde sadece bir yerde, temel elektrik yüküne atfen "elektriğin kuantumu e" şeklinde kullanır fakat matematiksel formülasyonu için kullanmaz. Kuantumun temel olup olmadığı konusunda henüz emin değildi. Ne kendisi ne de başkası fizik biliminde meydana getireceği devrimin büyüklüğünü tahmin etmiş değildi. Her ne kadar Planck bunu doğrudan söylemiş olmasa da söz konusu paragraf, belli frekanslarda titreşim hareketi yapan birimlerin, klasik fiziğin müsaade ettiği gibi herhangi bir enerji değerine sahip olamayacağını, fakat müsaade edilen enerji seviyelerinin *hv* değerinin tam katları olmak zorunda olduğunu ima eder. Jammer, "görünen o ki o dönemlerde Planck, ortaya attığı h sabitinin sadece matematiksel bir araç mı olduğu yoksa çok önemli fiziksel anlamı olan bir keşif mi olduğundan emin değildi" diye yazmıştır.[30] Planck gerçekten temel öneme sahip bir iş başarmıştı ancak bunu beklemiyordu. Halihazırda var olan teoriyi mümkün olduğunca korumak için son derece muhafazakâr bir yaklaşımla hareket etmiş, güvendiği deneysel sonuçları izah edebilmek için mümkün olduğu kadar az yenilik ortaya atmaya çabalamıştı.[31]

---

28 Jammer, *Conceptual Development*, s. 18.

29 Max Planck, "On the Theory of the Energy Distribution Law of the Normal Spectrum", *Verhalungen der Physikalischen Gessllsachaft* 2, 1900, s. 202.

30 Jammer, *Conceptual Development*, s. 22.

31 O halde kuantum ne zaman doğdu? Keşifler bazen ne oldukları tam olarak tanınacak halde

Beş yıl sonra Albert Einstein, bu matematiksel hileyi fiziksel bir gerçekliğe dönüştürdü. 1905'te Zürich Üniversitesi'nde doktorasını tamamladı ve ardından klasik fiziği sarsan dört adet sıra dışı bilimsel makale yayınladı. Bunlardan biri, metallerin üzerine ışık tutulması halinde elektronların yüzeyden sıçramasını sağlayan fotoelektrik olayla ilgiliydi. Klasik teori, elektronların enerjisinin ışığın yoğunluğuna bağlı olması gerektiğini öngörmüştü. Yani yuzeye daha yoğun ışık tutarsanız, daha fazla elektronun sıçramasını sağlarsınız. Ancak elektronlar halen aynı enerji ile yüzeyden kopmalıdır. Planck, temkinli bir şekilde, hesaba h sabitini de katmak gerektiğini söylemişti çünkü titreşim hareketi yapan birimler sadece *hv* değerinin katları miktarınca enerji yutup salabilirdi. Einstein ise bu defa h sabitinin ışığın kendisine ait bir özellik olduğunu söylüyordu. Işık, tanecikli bir yapıdaydı ve mekân içinde yine *hv* değerinin katları miktarınca belli enerjiler ile lokalize olmuş durumdaydı. Bu belli enerjilere sahip taneciklere "ışık kuantası" veya şimdiki bilindik ismiyle "foton" adı verilmiştir. "Bir ışık ışınının yayılması sırasında enerjisi, mekânın içinde süreklilik gösterecek şekilde yayılmış değildir" diyen Einstein "enerji, mekân içinde belli noktalarda yoğunlaşmış, bölünemeyen ve ancak bu formda yutulup salınabilen enerji kuantaları halinde bulunur" diye yazmıştır.[32] Bu durumda metalin yüzeyine yansıttığınız fotonların enerjisi, en az yüzeyden sıçrattıkları elektronun metalden kopabilmek için ihtiyaç duyduğu enerji ile yüzeyden ayrıldığında sahip olduğu enerjinin toplamı kadar olmak zorundadır. (iş formülü W: $E_{max} = hv - W$ şeklinde yazılır). Bir tüfeğin namlusunun ucundaki merminin enerjisinin ilk patladığı andaki enerjiden az olması gibidir bu durum. Çünkü mermi namlunun içinde seyahat ederken enerji kaybeder.

Planck, uzun bir süre h sabitini geleneksel fiziğin çatısı altına almak için çok uğraştı ancak uğraşıları boşa çıktı. Yüksek sıcaklıklar ve uzun periyotlar söz konusu olduğu müddetçe h sabiti ihmal edilebilirdi. Ancak yüksek frekanslar ve düşük sıcaklıklar işin içine girdiginde h sabitinin tekrar hesaplara dahil edilmesi gerekiyordu. Yüksek frekanslarda kara cisim ışımasında Wien'in formülünü elde etmek için muhakkak kuantumu göz önünde bulundurmak gerekiyordu. Klasik fizik ise sadece Rayleigh-James formülü ola-

ortaya çıkmazlar. Kuantum buna bir örnektir. Bazıları kuantumun doğuşunu 19 Ekim formülüne bağlar. Jammer'ın kabul ettiği tarih ise, dikkatlice incelendiğinde kuantumu gerekli kılan Planck'ın ilk hesaplarını yaptığı Mayıs 1898'dir. Kragh ve Kuhn gibi bazı diğer tarihçiler ise doğum tarihi olarak 1900'ün Aralık ayını veya hatta daha sonrasını tercih eder. En geç tarih ise Einstein'ın 1905'teki makalesine gider. Bu makalesinde Einstein, kuantumun bütün alana uygulandığını keşfetti. Maddelerden elektronları koparmak bu nedenle mümkündü.

32 Albert Einstein, "On a Heuristic Viewpoint Concerning the Production and Transformation of Light", *Annalen der Physik* 17 (1905), s. 132-48, reproduced in *The Collected Papers of Albert Einstein*, Cilt 2, No. 14, çev. A. Beck, Princeton University Press, Princeton, 1989, s. 86-103. Bu makale gerçekten devrimsel nitelikteydi. Ancak buna ek olarak, tıpkı Planck gibi Einstein da eski teoriyi mümkün olduğu kadar koruduğu ve olayları açıklamak için mümkün olduğunca az sayıda yenilikler eklediği için muhafazakâr nitelikteydi. Planck, kuantum düşüncesini titreşen birimlere uygulayarak klasik mekaniği ve termodinamiği kara cisim deneyleri ile uyumlu halde tuttu ve olduğu gibi korudu. Einstein ise kuantum düşüncesini biraz daha genişleterek fotonlara uygulamayı önermek suretiyle klasik parçacıkları ve klasik dalgaları fotoelektrik verileri ile uyumlu halde tutarak olduğu gibi korudu. Bir devrim ortaya çıkmaya hazırlanıyordu ancak devrimciler onu atabilecekleri en küçük adımlarla ileri taşıyordu.

rak isimlendirilen metodu sunuyordu. Bu formül, düşük frekanslardaki ışımaları izah edebiliyorken yüksek frekanslarda ise "ultraviyole faciası" olarak adlandırılan ve sonsuz değerde ışımaların olması gerektiği gibi imkânsız bir sonucun ortaya çıkmasını öngörüyordu.

1911'de Brüksel'de gerçekleşen Solvay Konferansı'nda Planck bir diğer sıra dışı meseleye dikkat çekmişti. Planck sabiti, belli bir miktar enerjiye karşılık gelmiyor fakat iki büyüklük arasında bir oran tanımlıyordu. Örneğin $E= nhv$ denklemi, enerji ve frekans arasında bir ilişki tanımlar; biri arttığı zaman diğeri de artar. Fizikçiler, enerji ve frekans arasındaki oran sabitlerini "eylem sabitleri" olarak isimlendirir. Konferans sırasında Planck, faz uzayı kavramı üzerinden yola çıkarak h sabitinin bir eylem birimi olduğu veya bir başka deyişle, bir sistemin sahip olabileceği mümkün olan bütün kilit değerlerinin soyut bir temsili olduğu gerçeği ile ilgili bazı şaşırtıcı sonuçlar üzerinde durdu. Örneğin hareket eden bir nesnenin faz uzayı, bir ekseninde konum ve diğer ekseninde momentum olan ve masanın üzerine çizebileceğimiz bir grafik ile gösterilebilir. Newton fiziğine göre masanın üzerindeki her nokta (ki sonsuz adet nokta düşünebiliriz), nesnenin bulunabileceği muhtemel bir konum noktasıdır. Momentumu ve konumu değiştiğinde nesne bir noktadan diğerine bir rota çizerek hareket eder. Newton'un yasaları bu rotanın tahmin edilmesi için kullanılabilir. Ancak Planck, kuantum dünyasında bir nesnenin buna benzer şekilde bulunabileceği sonsuz konum noktalarının olmadığını belirtmiştir. Masa yüzeyi, her biri h sabiti kadar bir alana sahip küçük yama parçalarından veya bugün kullandığımız ifadeyle "piksellerden" meydana gelmiştir. Bunların her biri, nesnenin içinde bulunması mümkün olan durumları, yani momentum ve konum aralıklarını temsil eder. Nesne için olasılıklar artık büyük oranda kısıtlanmıştır. Nesne, bir noktadan diğerine artık sürekli bir hareket içinde bulunamaz. Fakat en az bir kuantum büyüklüğündeki bir alanın içine sıkışmış haldedir. Bu şekildeki her bir piksel, mümkün olan bir eylem uzayıdır ve nesne bunların birinden diğerine sıçramak zorunda olduğu için hareketi süreksizdir. Belirsizlik ilkesi de dahil olmak üzere kuantum teorisinin sonradan keşfediliş olan bütün ilkeleri, faz uzayının pikselli, yani kuantize olduğu gerçeğinin içinde saklıdır.

Kuantum düşüncesi, her geçen gün evrende yeni eğimler ve kabarcıklar meydana getiriyor ve bilimde yeni bir dönemin kapısını açıyordu.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

Kuantum Sıçramaları

Kuantum Sıçraması, 1990'larda televizyonlarda yayınlanmış Amerikan komedi/macera/bilim kurgu dizisinin adıydı. Dizinin, kuantum fiziğinde yetenekli ve altı doktora sahibi zaman yolculuğu yapan kahramanı her bölümde zaman-mekân içinde farklı bir yere sıçrıyordu. 1980'lerde İngiliz bilgisayar firması Sinclair, sözde oyunun kurallarını değiştirecek olan Sinclair QL isimli bir makine çıkardılar (çıkardıktan kısa süre sonra da terk ettiler). 2000 yılında Florida'da, engelli binicilerin atlarla yeniden bir araya gelmelerini sağlayarak yaşamlarını değiştirmeyi amaçlayan Kuantum Sıçraması Rehabilitasyon Merkezi kuruldu. 2013'te Bosh firması, Finish Quantum isimli bir bulaşık deterjanı çıkardı. 2014'te Royal Caribbean denizcilik şirketi, denizcilik sektöründe bir kuantum sıçraması yapacağını iddia ettikleri Denizlerin Kuantumu adında 1.141 fit uzunlukta ve 167.800 groston ağırlığında bir gemiyi denize indirdi. (Kıyas için; Queen Mary 1.132 fit uzunlukta ve 148.528 groston ağırlığındadır.)

Atom altı durum değişimleri için kullanılan bilimsel bir terim olan "kuantum sıçraması" ifadesi, "büyük atılım" anlamına gelen bir deyime nasıl dönüşmüştü? Bu sorunun cevabı, kitabın ilerleyen sayfalarında tartışacağımız diğer kelimelerin ve deyişlerini hikâyelerini açıklamak için de fayda sunar. Teknik kelime ve imgelerin metaforlar haline nasıl dönüşebildiğini gösterir. Bu metaforların yeni şekillere nasıl evrimleştiğini ve nihayetinde sanat ve edebiyatta nasıl manalı söylevler halinde yer edindiklerini izah eder.

NIELS BOHR

Kuantum sıçraması kavramı, hatta bu ifadedeki kelimeler, Niels Bohr'un kuantumu atom teorisine uygulaması neticesinde fizik bilimine girmiştir.

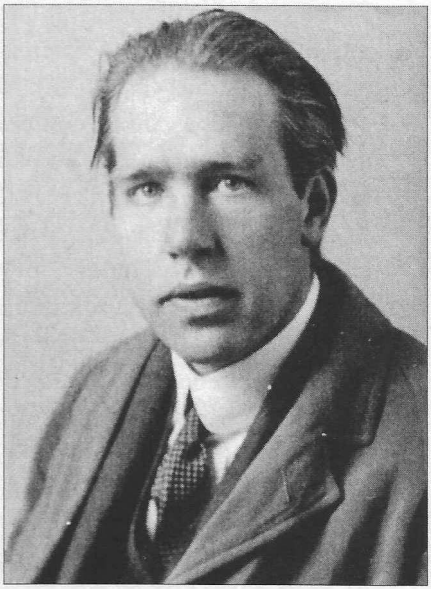
Bir fizik efsanesi olan Niels Bohr, 20. yüzyılın en etkili bilim insanlarından biriydi. Uzun, oval ve geniş yanaklı bir yüzü ve önden doğruca arkaya taradığı dalgalı saçları vardı. Fiziksel olarak heybetli, soğuk ve katı bir görünüme sahipti. Fakat meslektaşları onun son derece kibar ve düşünceli biri olduğunu biliyordu. Bohr'un öğrencilerinden biri olan Rus asıllı Amerikalı fizikçi George Gamow'un anlattığı bir anıdan da görülebildiği gibi acımasız ve cesur bir meraka sahipti. Bohr'un, öğrencileriyle de paylaştığı, Amerikan western filmlerine karşı bir ilgisi vardı. Bu filmlerde kötü adamların her zaman silahı ilk çekenler olmasına rağmen iyi adamların yine de her zaman ilk ateşleyen ve kötü adamları öldüren olmayı başardığına dikkat çekmişti. Bunun neden böyle olduğunu merak ederken psikolojik nedenlerin olması gerektiğini teorize etti. İlk silahı çektiği için kötü adamların önce düşünmesi gerekiyor, bu da eylemi yavaşlatıyor. Fakat iyi adamlar otomatik olarak refleksleriyle hareket ediyor ve bu nedenle daha çabuk davranıyor olmalıydı. Ertesi gün Gamow bir oyuncak dükkânına gider ve western usulü ucuz oyuncak silahlar ve silah kılıfları satın alır. Bohr'un teorisini deneysel olarak test etmesinde ısrar eder. Gamow, "Bohr ile karşılıklı ateş ettik. Bohr kahramanı canlandırıyordu ve nihayetinde bütün öğrencilerini öldürdü" demişti.[1]

Bilim tarihi kitapları Bohr'un fiziğe en büyük katkısını "Bohr atom modeli" olarak sunar. 1912-14 yılları arasında Bohr, o dönem henüz yeni bir düşünce olan kuantumu, atomların pozitif elektrik yükünün çok küçük ve yoğun bir çekirdekte toplanmış olduğuna dair Rutherford'un keşfinin getirdiği problemleri çözmek için kullandı.[2] Fakat kendisinin efsanevi kimliği, insanlarla karşılıklı konuşmalarındaki keskinliğinden gelmektedir. Bohr yüksek sesle konuşarak düşünen biriydi. Önce bir arkadaşını, öğrencisini ya da meslektaşını uzun bir yürüyüşe çıkmaya ikna eder, ardından karşılıklı diyalog başlatmak yerine fikirlerini acımasız şekilde ve art arda tekrarlayarak ortaya koymaya başlardı. Eğer kendisine eşlik eden kişi itiraz ederse, fikirlerinin ar-

1 George Gamow, *Thirty Years That Shook Physics*, Doubleday, New York, 1966, s. 56.

2 Doktora tezi, hareket halindeki elektrik yüklerini klasik elektron bulutu olarak kabul etmek suretiyle maddenin elektriksel özelliklerini anlama çabasını içeren Bohr, atomlar ölçeğinde bir çeşit kuantum tanımının gerekli olduğuna ikna olmuştu. Bohr, bu tarifi bulmak üzere yola koyuldu ve en basit atom olan hidrojen atomu için uyarılma durumunda atomun yaydığı ışığın spektrumunun, elektronların sadece belli enerjilere sahip yörüngelerde bulunduğu ve arada başka yörüngelere müsaade olmadığının kabul edilmesi halinde açıklanabileceğini gösterdi.

dındaki ilkeleri tekrar gözden geçirmesinde ısrar ederdi. Kendisiyle aynı fikirde olunmadığını hissettiği zaman sesi yükselmeye başlardı ve teslim olduklarından emin olmadan vazgeçmezdi. Erwin Schrödinger'i korkutarak (geçici olarak) fikirlerinden geri dönmesini sağlamış, hatta bir defasında Bohr'un acımasız eleştirileri karşısında Heisenberg ağlamaya başlamıştı. Bohr'un en zor ve sinir bozucu tartışma arkadaşı Albert Einstein idi. Sonraki bölümde inceleyeceğimiz üzere ikisi, Einstein'ın 1955'teki ölümüne kadar kuantum teorisinin temelleri üzerinde uzun tartışmalar yapmıştı.



Niels Bohr (1885-1962) (Niels Bohr Arşivi, Blegdamsvej 17, DK-2100 Kopenhag, Danimarka. AIP Emilio Segrè Visual Arşivi izniyle).

Bohr, devrimsel nitelikte olan atom modelini, 1911 yılında Kopenhag Üniversitesi'nde elektron teorisi hakkında yazdığı tezini savunmasından sadece iki yıl sonra ortaya atmıştı. Başarılı Danimarkalı öğrencilere maddi destek veren Carlsberg bira şirketinden aldığı burs sayesinde Bohr, İngiltere Cambridge'de bulunan Cavendish Laboratuvarı'na gitti. Laboratuvarın başında elektronların keşfedilmesini sağlamış olan ünlü deneysel bilimci J.J. Thomson vardı. Ancak Thomson, Bohr'un araştırma konusunu ilginç bulmadı. 1911'in sonuna doğru Manchester'a ziyareti sırasında Bohr, radyoaktivite alanında dünyanın en önde gelen deneycisi olan Ernest Rutherford ile tanıştı. İkisi çok daha uyumlu bir çift idi. Birkaç hafta sonra Mart 1912'de Bohr, Cavendish'den ayrılarak Manchester'a taşındı ve Rutherford'un laboratuvarında çalışmaya başladı. Burada yaptığı çalışmalarda kuantumu atomun yapısına uygulayan Bohr, fizik biliminde büyük bir devrimin temellerini attı. Tarihçi John Hell'in ifadesiyle "Bohr'un Manchester'a gidişi, bir devrin sonunu ve bir başka devrin başlangıcını sembolize etmektedir".[3]

O dönemlerde fizikçiler, atomun nasıl bir yapıya sahip olduğu konusunda halen sadece tahmin yürütebiliyordu. Thomson'un çalışmaları atomların elektron adı verilen negatif yüklü parçacıklar ihtiva ettiğini gösteriyordu.

3 John L. Heilbron, "The Scattering of Alpha and Beta Particles and Rutherford's Atom", *Arthive for History of Exact Sciences* 4, 1968, s. 304.

Pozitif elektrik yükü taşıyan bir parçacık olarak protonun varlığı teklif edilmiş ancak genel kabul görmemişti. Rutherford, atomların bütün pozitif elektrik yükünün merkezdeki çekirdekte toplanmış olduğunu savundu ve gezegenlerin Güneş etrafında dönmesi misali elektronların da bu çekirdek etrafında döndüğünü iddia etti. Bu fikir çok az ilgi gördü ve Rutherford'un kendisi tarafından dahi pek teşvik edilmedi.[4] Rutherford'un da katıldığı 1911 Solvay Konferansı'nın notlarında sözü edilmediği gibi dönemin bilimsel yayınlarında sadece kısaca değinildi.

Bilim insanlarının kuşkucu olmak için haklı nedenleri vardı. Elektrik yüklü parçacıklar gezegenler gibi değildir. Çünkü bu parçacıklar başka bir elektrik yükünün etkisi altında dönme hareketi yaptığında enerji yayarlar. Bu nedenle Rutherford'un atom modelindeki elektronlar yörüngelerini hızla küçülterek çekirdeğe düşmelidir. Geleneksel hareket ve çekim yasalarına göre Rutherford'un modeli işe yaramaz.

Öbür yandan Bohr, atomları stabil hale getirmede kuantumun tuhaf bir rol oynadığını hissetti. Bunu ilk düşünen o değildi. Bohr "Planck'ın teorisini bu gibi meselelerle bağlantılı olarak kullanma fikri havadaydı" demişti.[5] Ancak Bohr, problemi çözmenin doğru yolunu bulma noktasında özel bir konumdaydı. Çünkü hem Rutherford'un modelini derinlemesine biliyordu hem de kuantumla ilgili en güncel bilgilerle donanmıştı. Problemin çözümü 1912'de Bohr'a birkaç cesur adımda geldi.

Güneş etrafındaki gezegenler misali elektronlar da çekirdeğin etrafında istedikleri gibi herhangi bir yörüngede neden bulunamazdı? Neden enerji yaymıyorlardı? Bohr, bu soruların cevabının kuantum eylemi prensibi ile alakalı olduğunu düşündü. Çünkü faz uzayı parçalar halinde var olabiliyordu. Eylem, enerji ve zamanın çarpımı ile orantılıydı. Newton'un dünyasında eylem, sürekli değişken bir büyüklüktür. Kuantum dünyasında ise eylemin süreksiz parçalar halinde olması hayal edilmesi güç ve tuhaf bir gerçekti. Dönemin önde gelen fizikçilerinden biri "eylemin parçalar halinde olduğu bir evren hayal etmeye çalışmak umutsuz bir kafa karışıklığına neden oluyor" demişti.[6] Ancak bunun aksine Bohr, aslında eylemin kuantize olmasının atomun stabilizesini açıklayabileceğine inanıyordu. Bu fikri ispat etmek için, atomların yörüngesinde dolanan elektronların sahip oldukları kinetik enerji

4 Bkz. Heilbron, "The Scattering."

5 Abraham Pais, *Niels Bohr's Times, In Physics, Philosophy, and Polity*, Clarendon Press, New York, 1991, s. 144.

6 James Jeans, *Report on Radiation and the Quantum Theory*, The Electrician Publishing Company, Londra, 1914, s. 79-80.

ile frekansları arasında bir ilişki olduğunu göstermesi gerekiyordu. Bohr bu konuda Rutherford'a bir mektup gönderecek kadar heyecanlıydı ancak meselenin mekanik bir model ile açıklanması konusunda umutsuz olduğunu söylüyordu. Bohr kardeşi Harald'a; "Belki atomların yapısı ile ilgili küçük bir şeyler bulmuş olabilirim. Ancak bundan kimseye bahsetme" diye yazmıştı.

Birkaç ay boyunca Bohr ilerleme kaydedemedi. Ancak sonra spektral çizgilerle ilgili bir fikir geldi aklına. Spektral çizgiler, elektronların yörüngeler arasında yukarı aşağı sıçramaları sırasında yaydıkları ışıkla alakalıdır. Bu süreç içinde elektronlar, belli frekanslarda ışık yutar ve dışarı salar. Bu çizgiler, spektroskopist diye adlandırılan bilim insanları tarafından yarım asırdır inceleniyordu. 1885'te Johann Balmer adında İsviçreli bir okul öğretmeni şaşırtıcı bir keşifte bulundu. Matematik alanında birikim sahibi olan Balmer, hidrojen atomuna ait spektral çizgileri matematiksel bir formüle oturtmayı başardı. Bu formül sadece incelediği çizgiler için işe yaramakla kalmadı, henüz varlığı bilinmeyen başka spektral çizgilerin varlığını da öngördü. Günümüzdeki gösterimiyle bu formül $1 / \lambda = R(1/n_1^2 - 1/n_2^2)$ şeklinde yazılır. Formülde R değeri, Rydberg sabiti olarak bilinir. n_1 sıfırdan büyük bir tam sayı iken n_2 ise n_1 den büyük bir tamsayıdır.

Bohr, "Balmer'in formülünü görür görmez benim için her şey açıklığa kavuştu" dedi.[7] Formül, klasik anlamda sürekli bir büyüklük olan dalga boyunun, temel bir birimin sadece tam sayı katları olabilen değerler aldığını gösteriyordu. Bohr, bu durumun kuantizasyona işaret ettiğinin farkındaydı ve bu formül ona atomun yapısının kuantum doğasını gözlemek için bir işaret tabelası sunuyordu. Elektronlar, fotonlardan enerji yuttukları zaman bu enerjiyi üst yörüngelere geçerek depo ederler ve aynı enerjiyi alt yörüngelere düşmek suretiyle belli frekanslarda fotonlar halinde geri yayarlar. Basit hesaplama ile görülüyordu ki ikinci yörüngenin bağlanma enerjisi birincisinin çeyreği kadar, üçüncü yörüngenin bağlanması enerjisi dokuzda biri ve bir sonrakinin bağlanma enerjisi de on altıda biri kadardı ve bu silsile üst yörüngelere doğru devam ediyordu. Üst yörüngeden alt yörüngeye geçmek suretiyle kaybedilen enerji, belli bir spektral çizgiye karşılık gelen belli frekansta ışık formunda salınıyordu. Eylemin kuantumu, sadece belli atom yörüngelerine müsaade edildiği anlamına geliyordu. Bu durum, sanki Güneş etrafında sadece müsaade edilen belli yörüngelerin var olması ve gezegenlerin bu yörüngeler arasında pürüzsüz bir geçiş yapamaması, fakat bunun yerine sadece müsa-

7 Jammer, *Conceptual Development*, s. 77.

ade edilen yörüngelerin olduğu yerlerde ortaya çıkmasına benzer. Bohr, Balmer serisinin, eylem kuantumu ile spektral çizgiler arasında bir bağ kurmayı mümkün kıldığını gördü.

Bohr haftalarca hararetle çalıştı. Mart 1913'te, üç parçadan oluşan ve "Atomların ve Moleküllerin Yapısı Hakkında" ismini taşıyan makalesinin ilk parçasını gönderdi.[8] Bu makale, Güneş çevresindeki gezegenlerden farklı olarak elektronların çekirdek cevresinde sonsuz sayıda olası yörüngeye neden sahip olamayacağını gösteriyordu. Sadece az sayıda belli yörünge seçimleri mümkündü. Fakat önemli bir zorlukla karşılaşmıştı. Elektronların neden enerji kaybederek en alt seviyedeki yörüngeden çekirdeğe düşmediklerini izah edemiyordu. Fizik tarihçisi Abraham Pais, "Bohr, bu facianın olmasını engellemek için bilim tarihindeki en cüretkâr önermelerden birini ortaya attı" diye yazar. Bohr, basitçe en alt seviye yörüngenin kararlı bir durum olduğunu ilan etmiş ve böylece o güne kadar ışıma ile ilgili bilinen bütün bilgilere başkaldırmıştı![9]

Bilim insanları Rutherford'un tuhaf atom tasarısını ve kuantumu yeniden gözden geçirmeye başlamıştı. Bohr'un çalışmalarıyla ilgili ilk etkili yazı İngiliz bilimci James Jeans tarafından 1914'te Londra'da yayımlanan "Işıma ve Kuantum Teorisi Raporu" isimli kitapta göründü. O dönemin güncel keşfi olan, Newton yasalarının küçük ölçekteki olayları izah etmek için yeterli hassasiyete sahip olmadığı gerçeğini dile getirerek başlayan kitap, eski Newton mekaniği sisteminden tamamen uzaklaşmayı temsil eden Bohr'un çalışmalarını anlatarak sona eriyordu.[10]

Bohr'un teorisi hidrojen atomu için başarılı şekilde çalışıyordu. Ancak diğer elementler için pek iyi çalışmıyordu. Bir atom birden fazla elektrona sahip olduğunda, söz konusu elektronlar arasındaki etkileşimler çekirdeğin pozitif yükünü örtüyor ve bu şekilde dış yörüngedeki elektronların çekirdeğe ne kadar sağlam bağlı olduğunu etkiliyordu. Neticede ortaya çıkan komplikasyonlar Bohr'un modeli ile kolayca izah edilemiyordu. Sorun değil; diğer fizikçiler yakında yardıma gelmek üzereydi.

---

8 Niels Bohr, "On the Constitution of Atoms and Molecules, Part I", *Philosophical Magazine* 26, 1913, s. 1-24; "On the Constitution of Atoms and Molecules, Part II: Systems Containing Only a Single Nucleus", *Philosophical Magazine* 26, 1913, s. 476-502; "On the Constitution of Atoms and Molecules, Part III: Systems Containing Several Nuclei", *Philosophical Magazine* 26, 1913, s. 857-75.

9 Pais, *Niels Bohr's Times*, s. 147.

10 Jeans, *Report*, s. 1.

SIÇRAMALAR, ATLAMALAR VE SEĞİRMELER

Bohr, ilk makalelerinde atlama ve sıçrama kelimelerini kullanmamış ve basitçe elektron yörüngeleri ve sabit durumlardan bahsetmişti. Fakat modeli, elektronların sadece belli enerji seviyelerine sahip olabileceğini söylüyordu. Yörünge ve yörüngeler arası güzergâhlar terimlerinin yetersiz olduğunu gösteriyordu. Elektronlar, bir uydunun yörünge değiştirmesi misali atomun yapısında bir konumdan diğerine pürüzsüz şekilde geçiş yapamazdı. Bu geçişi, her nasıl oluyorsa, aniden gerçekleştiriyordu.[11] Birkaç yıl içinde bilimsel ve popüler yazılar daha uygun kelimeler kullanmaya başladı ve konumlar arası zıplama, sıçrama ve hatta seğirme ifadelerine atıfta bulundu.[12] *New York Times* bilim muhabiri Waldemar Kaempffert; "Enerji bu nedenle süreksiz ve parçalıdır. Tıpkı sinema filmi gibi seğirmeler halinde gelir. Ancak bu seğirmeler birbirini o denli hızlı takip eder ki neticede bir süreklilik görürüz" diye yazmıştır.[13] Sinema filmlerine yönelik bu benzetme, kuantum sıçramalarını evrenin gerçek bir özelliği olarak kabul etmeye davet eden güzel bir imgelemeydi.

Kuantum kelimesi hızla "süreksizlik" anlamına gelen bir metafor haline geldi. 1929'da Amerikan *Sun* gazetesi, modern yaşamın "klikleyen" şeyler tarafından yönetilir hale geldiğini yazdı. "Örneğin saatler" diye yazıyordu. "Bunun yanı sıra daktilolar, hesap makineleri, kasalar, hız göstergeleri, takometreler, otomatik telefonlar ve telgraflar, seğirmeler ile çalışan bütün aletler çalışan insanın ürünleridir. Bu, kuantum teorisinin endüstrideki dönemidir" diye yazıyordu.[14] Süreksizlikler tam olarak rastgele veya sebepsiz değildir; bu aletlerin seğirmeleri onlara sürekli şekilde etkiyen Newton kuvvetlerinin ürünüdür. *Sun* gazetesinin metaforu modern yaşamın tanıdık öğelerini farklı bir açıdan yakalıyordu.

Bir başka Amerikan gazetesi olan *Observer*, trafik ehliyet komisyonundan bir yetkilinin sarhoş olmanın derecesi yoktur diyen sözlerine yer vermişti. Yetkili, sarhoşluğun kendi içinde bir varlık durumu olmasından dolayı kişi ya sarhoştur ya da değildir kabulüne varmıştı. Doğadaki bu yeni süreksizlik doktrini insan aklının dairesi içine taşıyor ve insanın kuantum gibi davranmasına mı yol açıyordu?[15] Kuantum, farklı derecelere sahip olmak

11 Kuantum sıçramalarına dair Max Planck (Ann. Phys. 342 (4) 642 (1912)) ve Henri Poincaré'nin (bkz. Mathematics and Science: Last Essays, Dover 1963) ortaya attığı önermelerden Bohr'un haberi olmadığı anlaşılıyor.

12 Bertrand Russell'in 1923'teki kitabı *The ABC of Atoms*, ve James Jeans'in 1925'teki Rouse Ball semineri buna dahildir.

13 Waldemar Kaempffert, *The New York Times*, 11 Ocak 1931.

14 "Down the Spillway", n.a., *The Sun*, 4 Temmuz 1929, s. 6.

15 "At Random", *The Observer*, 10 Kasım 1929, s. 15.



Zachary Alexander Weinersmith (Saturday Morning Breakfast Cereal (SMBC) adlı internet karikatür sitesinden).

yerine var veya yok koşullarına uyan seyler için kullanılan bir terim haline gelmişti.

20. yüzyılın başlarında yaşamın giderek artan bir hızla mekanize olması, insan nüfusu ve askeri güç gibi alanlarda daha büyük süreksizliklerle karşı karşıya kalınması ile beraber kuantum sıçraması terimi daha dikkat çekici bir önem kazandı. Bu terim kısa zamanda parasal, eylemsel veya askeri güç gibi alanlarda, ara adımlı veya ani herhangi büyük niteliksel bir artışı tanımlamak için kullanılmaya başlandı. Kuantum sıçraması teriminin *Oxford İngilizce Sözlüğü*'ndeki birinci tanımı fizik bilimindeki manasına atıfta bulunurken, bilimsel olmayan manasına atıfta bulunan ikinci tanımı ise kuantum sıçramasını "ani, kayda değer veya açıkça görülen büyük bir artış veya ilerleme" olarak tanımlar.

Kuantum sıçramasını büyük veya küçük olarak ele almanız göz önünde bulundurduğunuz ölçeğe bağlıdır. Astronot Neil Armstrong'un ünlü sözünü yeniden yazacak olursak; kuantum sıçraması insan için (enerji bağlamında) küçük fakat bir elektron için büyük ve süreksiz bir adımdır (bölüm sonundaki ara bölüme bakınız). Ancak yine de dikkat çekicidir ki kuantum sıçraması terimi, tam anlamıyla süreksiz olmayan ve insan ölçeğinde gerçekleşen büyük değişimler için de kullanılmıştır (deterjan markası veya gemi ismi örneğinde olduğu gibi).

ARTAN SEMBOLLER

Kelimeler rastgeledir; sabit ve değişmez anlamları yoktur. Akışkanlıkları sınırlıdır, istismar edilebilir ve yanlış kullanılabilirler. Ancak yine de yeni anlamlar meydana getirebilirler. Kuantum sıçraması terimindeki anlam değişmesi ilk ve tek değildir. Moment, kuvvet, çekim ve pek çok günlük konuşma

dilinde kullanılan kelime bilimsel-teknik terimler haline geldiği gibi, tamamlayıcılık, belirsizlik, entropi ve katalizör gibi bilimsel-teknik terimler de günlük konuşma diline uyarlanmıştır.

Kelimeler genellikle mecazlar vasıtasıyla yeni anlamlar meydana getirir. Mecazlar, birincil ve ikincil olmak üzere iki terim içerir. Örneğin "aşk bir güldür" benzetmesinde birincil terim, anlamı incelenen "aşk" kelimesidir. İkincil terim ise, birincil terime ışık tutmaya çalışan "gül" kelimesidir. Buradaki mecaz filtreli bir mecazdır. Birincil terim ile ilgili anlayışımızı, ikincil terimin bilindik özelliklerinin ışığında filtre etmemizi ister (aşk, güller gibi güzel, ama aynı zamanda dikenlidir). Terimlerin manaları karışmaz. Gül ile aşk aynı şey değildir. Gül, bahçede kalmaya devam eder ve kimliği değişmez. Ancak yeni bir anlam ortaya çıkar; aşkın güle benzerliği. Bu anlam aşk deneyimini daha iyi anlamamızı sağlar.

Mecazlar deneyimlerimizin esrarengiz olduğu durumlarda özellikle faydalıdır. Böyle durumlarda kelimelerin gerçek anlamları yetersizdir ve teknik olarak yanlış olsa da yeni anlamlara ihtiyacımız vardır. Metaforik zorlama olarak ifade edilen benzetme yapma ihtiyacı, hoşnutsuzluktan kaynaklanır. Deneyimlerimize kelimeler ekleme ihtiyacı hissederiz. Ancak var olan



"Entropinin suçu"

Mark Thompson (The New Yorker Collection, www.CartoonBank.com).

kelimeler tam uymaz ve yardımcı olacak başka kelimeler aramaya başlarız. Mecazlar bu anlamda Rorşak testleri gibidir. Birincil terimin gerçekten ikincil terimle bağlantılı olmasından değil, fakat ikincil terimin anlayışımızda meydana getirdiği değişimden dolayı anlamlıdırlar. Mecazlaştırma, anlayışımızın geliştiğini ve yeni bir şeylerin ortaya çıktığını görmemizi sağlayan bir süreçtir.

Örneğin John Updike tarafından 1976'da yazılan "İşte Maple Ailesi Geliyor" isimli kısa hikâyede John Maple, kötüye giden evliliği hakkında uzun uzun düşünürken atom altı keşiflerle ilgili şans eseri gördüğü bir yazı ile düşünceleri birden kesintiye uğrar:

> Okumaya başlar... *Güçlü nükleer kuvvetin kuarkların birbirinden uzaklaşmasıyla orantılı olarak arttığı teorisi biraz spekülatiftir. Fakat tersi, yani kuarkların birbirine yakınlaşmasıyla orantılı olarak kuvvetin zayıfladığı düşüncesi daha doğru şekilde gösterilmiştir.* Evet dedi kendi kendine, aynen bu oldu. Hayatta dört kuvvet vardır. Sevgi, alışkanlıklar, zaman ve can sıkıntısı. Kısa mesafelerde sevgi ve alışkanlıklar son derece güçlüdür. Ancak negatifi olmayan zaman amansız şekilde birikmeye devam eder ve kardeşi can sıkıntısı her şeyi düzler. (italikler Updike'a aittir)

Maple, sezinleyip de söyleyemediklerinin yerini doldurmaya çalışıyor. Evliliğinin atom altı fiziği olduğunu düşünmüyor elbette. Ancak yine de, paragrafta gördüğümüz üzere, fizik biliminin terimlerini evliliğinin dinamiklerine anlam vermede kullanışlı buluyor. Kafası karışık, anlamak istiyor ve o an elinde var olan en iyi araçları, şans eseri cebinde bulunan bir yazıda okuduğu kelimeleri kullanmaya çalışıyor. Bu yazı ekonomi, spor veya sinema gibi herhangi başka bir konuyla da ilgili olabilirdi ve kendisi fizik bilimi yerine bu konularda kelimelere takılabilirdi. Mecazlar işaretçilerdir ve önemli olan işaret ederken neyi kullandıkları değil onların hangi fenomenlere işaret ettiğidir (bu örnekte Maple'ın evliliği).

Fakat ifadeler, onların geldiği kökeni unutursak mecaz olmaktan çıkabilir ve geldikleri dünya ile ifade ettikleri şey arasında artık bir bağ teşkil etmez hale gelebilir. Yani işaretçiler olan mecazlar, kökenleri kaybolmuş isimlere dönüşebilir. Diller bunlarla doludur ve dil bilimciler pek çok ilginç örnekler sunabilir. Rusçada "hızlıca" anlamına gelen "Bistro" kelimesi bunlardan biridir. Bu kelime, Napolyon yenilgisi sonucu Paris'te üslenen Rus askerlerinden gelmiştir ve Napolyon bu kelimeyi Fransız şeflerinin yemeği daha çabuk getirmelerini söylemek için kullanmıştır.

Bu metot laboratuvar kelimelerin günlük yaşamda kullanılması metotlarından sadece biridir. Sadece bazı kelimeler bu süreksiz sıçramayı yaparak işaretçilere ve isimlere dönüşür. Bilimci Arthur Eddington'un da (biraz küçümser bir ifadeyle) belirttiği gibi, bu olay yanlış anlaşılabilecek kadar basit olan bilimsel kavramlarda sıkça karşılaşılan bir olaydır. Daha uygun bir ifadeyle "düşündürecek kadar basit olan" diyebiliriz belki. Kuantum kavramları çoğu zaman bu kritere uymaktadır.

Bilimsel kelimeler bu geçişleri filtreli mecazların yanı sıra başka şekillerde de gerçekleştirebilir. Yaratıcı mecazlarda terimlerin öncelikleri yer değiştirmiştir. Dilbilimsel bir tersine çevirme ile ikincil terim, önceki anlamıyla birlikte birincil terimin anlamını da kapsayacak şekilde anlam noktasında derinlik kazanır. Yani işaretçi işaret edilen haline gelir.

Fizik biliminde, örneğin "dalga" kelimesi, esas anlamıyla bir ortamın içinde gerçekleşen hareket için kullanılırdı. Ancak bu kelimenin önce ışık (ışık içinde yayılacağı bir ortama ihtiyaç duymaz) ve ardından kuantum fenomenlerine (kuantum olasılık dalgası formunda) yönelik mecazi kullanımları onun anlamını değiştirmiştir. Günümüzde artık "dalga" kelimesi bu bağlamda sadece bir mecaz değil, ışığı ve kuantum olasılık dağılımlarını doğrudan tanımlayan bir terim haline gelmiştir.

Kuantum sıçraması ve kuantum atlaması terimleri, kuantum için kullanılmış ilk ve en kalıcı popüler çağrışım terimleri olmuştur. Edebi düşünce tarzıyla bakanlar bu kelimelerin en iyimser ihtimalle yanlış, en kötümser ihtimalle de boş ve yanıltıcı şekilde kullanılmakta olduğunu söyleyebilir. Kuantum zıplaması ve kuantum sıçraması terimlerinin atom altı dünyadan günlük konuşma diline yayılması, bu kitapta tartışılan diğer terim ve imgelerin izlediği yollar için de bir model teşkil eder. Bu süreç, bilimsel terim ve imgelerin anlamlı şekilde sanat, edebiyat ve felsefede ortaya çıkması için bir fırsat yaratır.

NIELS BOHR, KUANTUM SIÇRAMALARINI ATOMLARI HAREKET ETTİRMEK İÇİN KULLANIYOR

"Belki atomların yapısı ile ilgili küçük bir seyler bulmuş olabilirim. Ancak bundan kimseye bahsetme."

– Niels Bohr'dan Harald Bohr'a, 1912

Bohr'un kuantumu atomun yapısına uyguladığı fikri son derece basitti. Temmuz 1913'te yayınlanmış olan ilk makalesi kuantumu, tek bir elektronun tek bir protonun etrafında yörüngede olduğu bir hidrojen atomundan oluşan en basit duruma uygulamıştı. Bohr, koşulları basitleştirmek adına, elektronun kütlesinin çekirdeğin kütlesine kıyasla çok küçük olması ve rölativitenin kurallarının işin içine girmemesi adına elektronun hızının ışığın hızına kıyasla çok daha düşük olması gibi varsayımlarda bulunmuştur. Bunun yanı sıra elektronların yörüngesinin dairesel olduğu ve klasik Maxwell yasalarına göre elektronların enerji ışıması yapmadığını da varsaymıştır.

Bu yörüngenin klasik fizikteki mekanik tanımına göre, elektronun çembersel yörüngedeki hareketinden doğan merkezkaç kuvveti ($L^2/2mr^3$) ile elektron ve çekirdek arasında var olan elektriksel çekim kuvveti (e^2/r^2) birbirine eşit kabul edilmiştir. Yani;

$$\frac{L^2}{2mr^3} = \frac{e^2}{r^2}$$

Bu kabul, gezegenlerin hareketini tanımlayan Kepler yasalarına benzer bir koşul meydana getirir. Bu modele göre atom çekirdeği Güneş gibidir ve elektronlar da Güneş etrafında dönen gezegenler gibidir. Eğer bu model tamamen dogru olsaydı bu durumda elektronlar çekirdeğin cevresinde sonsuz sayıda olası yörüngelerde bulunabilir fakat hareketleri neticesinde çekirdeğe düşene kadar sürekli enerji kaybederdi.

Ardından Bohr, bu yörüngelerin sadece belli başlılarının mümkün olduğu varsayımında bulunmuştur. Hangilerinin mümkün olduğunu görmek için de kuantum fikrini kullanmıştır. Bohr, elektronun açısal momentumunun, Planck sabitinden türetilen yeni bir sabitin tam katlarına eşit yörüngelere müsaade olduğunu söylemiştir. Bu yeni sabit, "h-bar" olarak tabir edilen ve $\hbar$ ile gösterilen $h/2\pi$ sabitidir. Veya bir başka deyişle 2π ile açısal momentumun çarpımı nh sayısına eşittir (n tamsayıdır). Bu durumda müsaade edilen yörüngenin yarı çapı:

$r=n^2\ \hbar^2/e^2$ denklemine eşit olur

Elektronlar bu yörüngelerden birinden diğerine sıçradıklarında enerjileri arasındaki fark;

$\left(\frac{e^4m}{2\hbar^2}\right)\left(\frac{1}{n_1^2}-\frac{1}{n_2^2}\right)$ denklemine eşit olur

Bu denklem bizi Planck formülü olan $E= hv$ ile doğrudan aşağıdaki dalga boyu denklemine götürür.

$$\lambda = \frac{2hc\hbar^2 (n_2^2 - n_1^2)}{e^4 m n_1^2 n_2^2}$$

$n_1=2$ için bu denklem bizi, spektrum çizgilerinin genel olarak gözle görünür aralıkta olduğu hidrojen atomunun Balmer serisine götürür.

Bohr atom modeli, klasik modeli alıp ona bir kuantum kısıtlaması getiren hibrit bir modeldi. Hidrojen atomu dışında başka bir atoma uygulanamadığından dolayı bunun ötesinde çalışmaz hale geliyordu. Bu sorunun çözümü Bohr ve diğerlerinden gelecek yeni çalışmaları beklemek zorundaydı. Ancak kuantumun maddenin temel taşlarına yazılmış olduğunu göstermesi bakımından çok önemli bir adımdı. Madde bir arada duruyordu çünkü doğada Planck sabiti vardı. Bu sabitin değeri çok küçük olmasına rağmen eğer sıfır olsaydı atomlar çok kısa bir anda kendi içlerine çökerdi. Elektronların kuantum sıçraması yapmasını zorunlu kılan h sabiti, atomların kararlı olmasını ve mikro dünyanın çalışmasını sağlıyordu. Neden bütün hidrojen atomları (ya da herhangi başka bir atom) birbirinin aynısıdır? Kuantizasyon bu sorunun cevabını sunar; çünkü hepsi birbirinin aynısı bir yapıya sahiptir. Bir elektronu ve bir protonu bir araya getirip stabil bir hidrojen inşa etmenin sadece bir yolu vardır. Bu durum diğer atomlar için de geçerlidir.

Kuantum sıçraması, bir insan için küçük ancak bir elektron için büyük bir adımdır dedik. Peki ne kadar büyük? İşin içindeki mesafeleri ve enerjileri göz önüne getirelim. Eğer havaya 6 metre zıplayabilseydik bu büyük bir sıçrama olurdu öyle değil mi? Şimdi bunu, hidrojen atomunda birinci enerji seviyesinden ikinci enerji seviyesine geçen bir elektronun enerjisindeki değişime kıyas edelim. Aynı enerji ile tahrik edilseydi bir elektron dünyanın yüzeyinde dünyanın kütle çekimi etkisi altında ne kadar yukarıya kadar çıkabilirdi? Cevap: Yaklaşık bir buçuk milyon kilometredir. Yani yaklaşık Dünya'dan Güneş'e kadar olan mesafe! Bu kıyas, elektronun küçük değil fakat gerçekten devasa bir atılım yaptığını gösteriyor.

Elektronun bu zıplama enerjisi, zıplayan bir insan misali makro dünyadaki nesnelerin enerjilerine kıyasla çok küçüktür. Ancak elektronun kütlesi çok küçük olduğu için bu enerji elektronun hızı üzerinde ciddi bir etki meydana getirir. Elektronun yaşadığı ivmenin aynısı bir insan bedenine uygulansa onu rahatlıkla ezerdi. Elektrondaki enerji değişiminin büyük veya küçük olduğuna dair bakış açısı onu neye kıyas ettiğimizle alakalıdır.

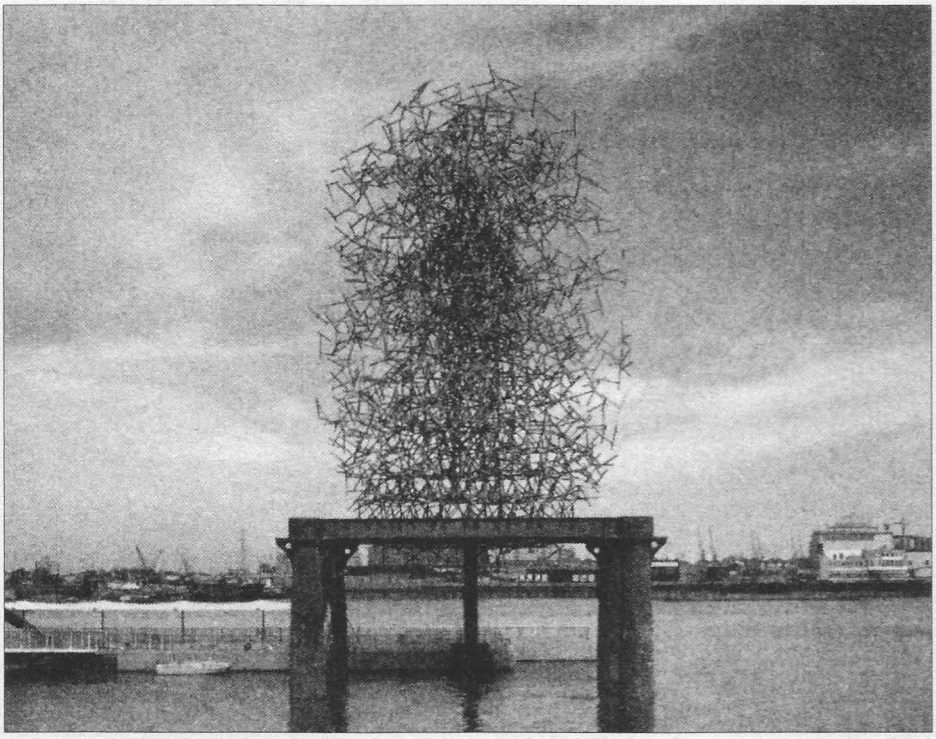
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

Rastgelelik

İsmi Kuantum Bulutu. Thames nehrinin kıyısında bulunan bir platformdan 30 metre yükseliyor ve uzak mesafeden büyük bir çelik yumağı şeklinde görünüyor. Londra'nın gri seması ile çerçevelenmiş bir buluta benziyor gerçekten. Güney Londra'ya gelmiş ve Millennium parkı ziyaret eden ziyaretçilerin veya gemiyle oradan geçenlerin onu görmemesi mümkün değil. Yaklaştığınızda, ortada yer alan belirsiz bir insan figürünü fark etmeye başlarsınız. Seride yer alan diğer heykeller gibi bu heykel de, İngiliz sanatçı Antony Gromley tarafından çelik çubuklardan imal edilmiştir. "Kuantum bulutları ve sahaları" başlığını taşıyan bu seri, görünüşte rastgele hareketlerden formların nasıl meydana gelebildiğini inceler.

İngiltere'nin kuzeyinde yaşayan yazar Valerie Laws'ın eseri olan "Kuantum Koyunu"nda rastgelelik farklı bir şekil alır. 2002'de Laws, yakında bulunan bir çiftlikteki koyunların yünleri üzerine sprey boya ile kelimeler yazdı. Yaklaşık bir düzine hayvandan oluşan sürüdeki koyunlar yan yana geldiğinde kelimeler farklı şekillerde dizilerek her defasında yeni bir şiir meydana çıkıyordu. Bu projeye 2.000£ bütçe sağlayan Kuzey Sanatların sözcüsü, ortaya çıkan sonucu "şiir ve kuantum fiziğinin heyecan verici bir kaynaşması" olarak tanımladı.[1] Meydana gelen dizelerden biri şöyleydi:

1 BBC News, 4 Aralık 2002, http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/ 2541761.stm (Erişim tarihi: 19 Ekim 2013).



Kuantum Bulutu, Anthony Gomley, 2000. Thames Nehri, Greenwich Yarımadası, Londra (Galvanize çelik, 29 x 16 x 10 m, kalıcı enstalasyon).

Bulutlar gökyüzünü sıyırır
Koyunlar altında nazikçe sürüklenir
Tarlaların, yumuşak aynaların üstünde
Ilık beyaz kar

Laws BBC'ye bu projeyi sürdürmenin neden değerli olduğunu düşündüğünü açıkladı. "Rastgelelik ve belirsizlik, evrenin nasıl meydana geldiğinin merkezinde yatar ve bu durum, düzene bağımlı olan biz insanlar için oldukça zordur" diyordu. "Bu nedenle rastgeleliği ve kuantum mekaniğinin bazı ilkelerini koyun temasını kullanarak şiirin gözünden incelemeye karar verdim."

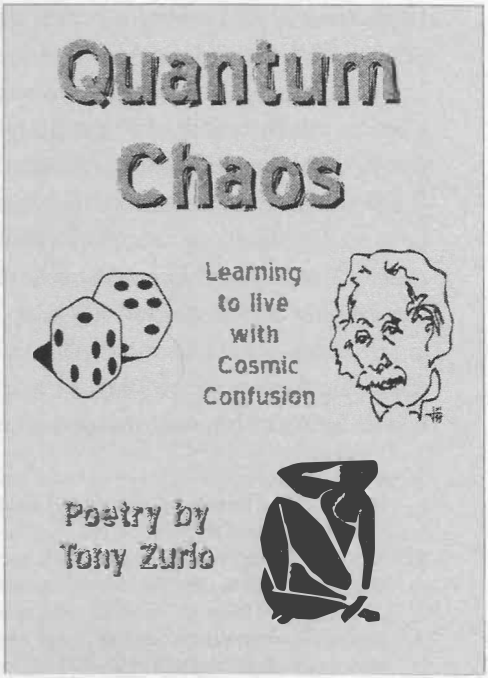
Kendisine ait koyun dizelerinin bazıları şiir antolojilerinde yer aldı. Pek çok daha fazlası da mevcut; Laws, bu metodun 87 milyar adet kombinasyon oluşturmasının mümkün olduğunu düşünüyor. Her birinin sürekli olarak her 5 saniyede okunduğunu kabul edersek hepsini bitirmemiz yaklaşık yüz bin sene zaman alır.

Kuantum rastgeleliği, çocuk kitapları yazan yazar Tony Zurlo'nun *Kuantum Kaos: Kozmik Kafa Karışıklığı ile Yaşamasını Öğrenmek* başlığını taşıyan bir başka şiir kitabında karışımıza çıkar. Zurlo'nun şiirlerinden biri aşağıdaki iki mısrayı içerir.

> Atom altı maddenin dansı doğaçlama olabilir mi?
> Gerçeklik, bir olasılıklar eğrisi ile belirlenmiş olabilir mi?

Klasik Newton dünyasında bu soruların cevabı hayırdır. Madde dans etmez. Hareketi, en küçük birimlerine kadar yasalar tarafından yönetilir. Büyük ölçekteki hareketleri, rastlantısal olan küçük ölçekteki hareketlerinden gelir. Laplace'ın hayal ettiği ve evrenin bütün bilgileri ile donanmış olan mükemmel akıl, toplamı gerçeklik dediğimiz şeyi meydana getiren her yapıyı bilebilir ve her olayın gelişimini öngörebilirdi.

Fakat biz insanlar böyle mükemmel bir durumda değiliz. Dünyanın tamamının nasıl işlediğini bilmiyoruz. Kart oyunları, atılan yazı turalar, lotto çekilişleri ve atılan zarlar bize hep rastgele görünür ve kaba aletler ile yaptığımız ölçümler her zaman belirsizlikler içerir. Bu meselenin üstesinden gelmek için bilim insanları olasılık ve ölçüm hataları ile ilgili teoriler geliştirirler. Newton döneminde yaşamış iki Fransız matematikçi olan Blaise Pascal ve Pierre Fermat oyunlar, lottolar ve cansız nesneleri içeren diğer durumlar için olasılık teorileri geliştirmiştir. 19. yüzyılın Belçikalı matematikçilerden Adolphe Quetelet, istatistik ve olasılığı suç oranları ve sosyal bilimciler tarafından incelenen diğer meselelere uyguladı. Fransız matematikçi ve filozof Rene Descartes, diğer konuların yanı sıra ölçüm hatası ve sapması konularını inceledi.



Tony Zurlo, *Kuantum Kaos* kitabının kapağı.

Rastgele olaylar belirli nedenler ve amaçlar taşımaz. İstatistik, olmuş olayların frekanslarını ve bu olaylar arasındaki ilişkileri analiz eder. Olası-

lık, gelecek olayları öngörmek için istatistiğin kullanılmasıdır. Belirsizlik, bir sonucun belirli beklenen bir değerden olası sapma durumudur. Bütün bu fikirler, eksik bilgi içeren durumları izah etmede kullanılan yöntemler olarak Newton'un dünyasında mevcuttu. Bu araçlar, Tarihçi David Lindley'in yazdığı gibi mimari planını bilebildiğiniz ancak inşaatta kullanılan her bir tuğlanın şeklini ve rengini bilemediğiniz durumlar için kullanışlı olan araçlardı.[2]

Günümüzde rastgelelik, belirsizlik ve öngörme olanaksızlığı kavramları çoğunlukla kuantum olayları ile bağdaştırılır ve dünyanın daimi özellikleri olarak kabul edilir. Rastgele çubuklardan ortaya çıkan insan figürleri, dolanan koyunlardan derlenen şiirler ve olasılıktan gelen gerçeklik "kuantum" olarak isimlendirilen ve rastgelelikten formun ortaya çıktığı bazı örneklerdir. Peki bütün bunlar nasıl oldu?

YIKICI UNSURLAR

Klasik fizikten kuantum fiziğine geçiş, ani olmaktan ziyade kademeli bir geçiş şeklinde gerçekleşmiştir. Çünkü istatistiğin ve olasılığın giderek yaygınlaşan bilimsel kullanımı, bilim insanlarını istatistik ile yönetilen bir dünya anlayışına alıştırmıştı. Bütün bunlar, Newton dünyasında ortaya çıkmış ve ilk başta zararsız gibi görünmüş fakat daha sonra yıkıcı olmuş olan pek çok fenomenin 19. yüzyılda ortaya çıkması ile başladı.

Bunların ilki termodinamikten geldi. Bu terim 19. yüzyılda ısı denen kavramı tek bir varlık olarak değil fakat pek çok parçacığın hareketi sonucu ortaya çıkan bir olay olarak düşünen ısı bilimini tanımlamak için icat edildi. Söz konusu hareketleri izah etmek için fizik bilimi, her zamankinin aksine, bu defa sosyal bilimlerin araçlarını ödünç almak durumunda kaldı. Quetelet'in çalışmaları sayesinde istatistik, doğum ve ölüm oranları, suç ve hastalık oranları gibi her bir öğenin tek tek takip edilmesinin imkânsız olduğu olayların analiz edilmesinde kullanılan gelişmiş bir araç haline geldi. Termodinamiği ve çoklu hareketleri içeren olayları inceleyen bilim insanları, istatistiğin onlar için de işe yarar bir araç olacağını gördü.[3] Gazları incelemek insan toplumla-

2 David Lindley, *Uncertainty: Einstein, Heisenberg, Bohr, and the Struggle for the Soul or Science*, Doubleday, New York, 2007, s. 30.

3 Maxwell 1873'te "Moleküler bilim, deneylerimizin bizlere istatistik bilgi dışında başka bir şey veremeyeceğini öğretir. Bu bilgilerden çıkarılacak hiçbir yasa mutlak hassasiyette olamaz." ("Molecules", *Nature*, Ekim 1873, s. 437-41). Tarihçiler, Maxwell'in doğa bilimlerinde istatistik bilgiye güvenme konusundaki rahatlığını, sosyal bilimlerde istatistiğin giderken artan kullanımı ile ilişkilendirmiştir. Bkz. Theodore M. Porter, "A Statistical Survey of Gasses: Maxwell's Social Physics", *Historical Studies in the Physical Sciences* 12, No. 1, 1981, s. 77-116 ve s. 79.

rını incelemek gibiydi. Dahası, bu istatistiksel bilgi kompleks sistemleri inceleyen bilim insanlarının tam da istediği şeydi. Toplumları inceleyen sosyologlar ve gazları inceleyen bilim insanları, sistemi meydana getiren parçaların her birinin davranışını değil, toplu davranışı anlamak istiyordu. Bilimden bir örneğe bakalım: Farz edin suyun nasıl kaynadığını incelemek istiyorsunuz. Belli bir noktada belli büyüklükte tek bir hava kabarcığının tam olarak hangi anda ortaya çıkacağı ile mi ilgilenirsiniz yoksa basitçe hava kabarcıklarının genel olarak ne zaman ortaya çıkacağı ile mi ilgilenirsiniz?[4]

İkinci problemli fenomen Brownian hareket olarak bilinen meseleydi. Brownian hareket, mikroskop altında bakıldığında suya dökülmüş olan polen tozlarının su yüzeyinde gizemli bir şekilde yaptığı rastgele oynama ve çalkalanma hareketine atıfta bulunur. Bu cansız toz tanelerinin kestirilemez esrarengiz hareketinin nasıl oluştuğu o zamanlar izah edilemiyordu. Üçüncü problemli mesele ise, bazı türde atomların bir başka türe dönüşmesi ve bu sırada dışarıya enerji yayması ile alakalı olan radyasyon olayıydı. İlk defa 1896'da uranyum elementinde fark edilen bu olay kısa süre sonra başka elementlerde de gözlendi. Radyasyon, özel bir neden olmaksızın kendiliğinden ve aniden gerçekleşen bir olay gibi görünüyordu. 1900'de toryum oksit maddesindeki ışımaları inceleyen Ernest Rutherford sayısal bir kural geliştirmeyi başardı ve ışımanın yoğunluğunun zamanla azaldığını (günümüzde bu süre yarı-ömür ile ifade edilir) söyledi. Bu azalmanın, her bir atom için birim zamanda sabit bir dönüşüm olasılığı ile gerçekleştiğini gördü. Bu kuralın bütün diğer radyoaktif elementler için de çalıştığı kanıtlandı. En azından o dönem için Rutherford ve diğerleri bu sayısal ışıma kuralının, istatistiksel bir kestirme olsa da, aslında nedenselliğe dayalı derin bir izahının olduğunu kabul ediyordu. Rutherford'un bu sayısal kuralı toplumlardaki ölüm oranları tablosuna benziyordu. Atomlar için yazılan bir nevi ölüm oranı tablosu gibiydi. Rut-

4 19. yüzyılın sonlarında Maxwell, Boltzmann ve diğer bilim insanları, küçük ölçekte tersinir Newtonsal olaylar ile büyük ölçekte tersinir olmayan olayları (termodinamiğin incelediği olaylar gibi) birbirine bağlayacak ilkeler bulmakta güçlük çekiyordu. Örneğin Boltzmann günümüzde kendi adı ile anılan (k ile gösterilen) ve bir maddenin T sıcaklığı ile o maddenin yapısında bulunan bir atomun ortalama enerjisi arasında ilişki kuran bir sabit ortaya attı. Ancak bu bilim insanlarının keşifleri, mikro dünya ile makro dünya arasındaki farklılığı vurgulamaya yaradı sadece. Küçük ölçeklerde olaylar tersinir ve öngörülebilirdir. Ancak büyük ölçeklerde istatistiğin sözü geçer. Newton'un yasaları + sayısız parçacıktan oluşan nesneler + olasılık yasaları = zamanın akış yönü ve entropideki artış (düzensizliğe gidiş). Sonuç, termodinamik bilimcileri arasında Brush'un tabiriyle bir kinetik dünya görüşünün yaratılmasıydı. Bu dünya görüşünün ruhu geleneksel Newton fiziğinden çok farklıydı. Termodinamik bilimi ayrıca, bir sonraki bölümde tartışacağımız "Gibbs paradoksu" adı verilen bir problemi doğurdu.

herford ve meslektaşları, yeni araştırmalar ile elde edilecek yeni bilgilerin, her bir atomun ölümünü nedenselliğe dayalı olarak izah edebilecek bir mekanizma ortaya çıkaracağını umuyordu.

Zamanla biriken bu problemli meseleler bilim insanlarına, küçük boyutlar ölçeğinde açıklayamadıkları gizemli şeyler döndüğüne dair rahatsız edici bir his veriyordu. Bu gizemli şeyler, patlayarak açığa çıkmak üzereydi.

19. yüzyılın sonunda Amerikalı bilimci ve felsefeci Charles S. Peirce, rastgeleliğin doğanın özünde yattığını savundu. Bu gerçeğin, bilim insanlarının, doğada bütün ölçekler ve bütün disiplinler için geçerli olacak nihaiyi tek bir yasalar bütününe erişmesine engel olacağını ve bu nedenle ayrı ve farklı yasaların üretilmesi gerektiğini savundu. Ancak 20. yüzyılın başlangıcında bu konu halen boş metafizik bir spekülasyondu ve filozofların bir burun sokması olarak görülüyordu. Sözünü ettiğimiz problemli meseleler bilim insanlarını, doğanın yalnızca doğrudan erişemediğimiz parçalarını izah etmek için o dönem elde bulunan en iyi araçlar olan istatistiği ve olasılığı kullanmaya zorlayan meselelerdi sadece.

Bilimde giderek vazgeçilmez hale gelen istatistiği ve olasılığı, sadece yardımcı bir araç olmaktan çıkarıp dünyanın yapısal bir parçası haline dönüştüren kişi, 1916-17 yılları arasında kuantum teorisi hakkında yazdığı üç makalesi ile Albert Einstein oldu. Bu makaleler ışığın dalga özelliklerini, termodinamikteki meseleleri ve Rutherford'un ışıma ile ilgili sayısal yasalarını birleştirerek olasılık kavramını atomun davranışının temeline yerleştirdi. Ancak Einstein, bu birleştirmeyi yaptığı an yaptığından pişman olmuştu.

1900'deki Planck'ın orijinal kuantum kavramı olasılığı içermiyordu. Einstein'ın 1905'te yayınladığı ve fotoelektrik olayını açıklayan makalesi de içermiyordu.[5] 1905'ten sonra Einstein, özellikle kendi geliştirmekte olduğu genel rölativite teorisi gibi başka konularla son derece meşgul olduğu halde kuantum teorisindeki gelişmeleri yakından takip etti. Çalışmakta olduğu patent ofisinden ayrılıp Berlin'de profesör oldu. Einstein, Bohr'un 1913-14'te

5 Einstein'ın düşüncesine göre ışık, akan su gibi değil fakat akan bilardo topları misali paketçikler (sonradan foton olarak isimlendirildi) şeklinde her zaman lokalize olmuş haldeydi. Bu fotonlar lokalize olduğundan dolayı atomlara çarptıklarında elektronları koparabiliyordu (bu olayı Planck'ın düşüncesi temelinde anlamak oldukça zor olurdu) ve kopan bu elektronlardan herhangi birinin maksimum enerjisini, atomla çarpışan fotonun enerjisi için yazılmış olan Planck'ın formülünü kullanarak hesaplamak mümkündü. Maddeden ayrılan elektron bir miktar enerji kaybedeceği için bu formül, elektronun sahip olabileceği maksimum enerjiyi (Planck'ın $h\nu$ formülü) ve elektronun maddeden dışarı tırmanmak icin ihtiyaç duyduğu enerjiyi temsil eden iş fonksiyonunu ihtiva eder. Ancak Einstein'ın formülünde bir fotonun bir elektronu gerçekten koparma ihtimalinin ne olduğunu söyleyen hiçbir şey yoktu.

yayınladığı makalelerinden çok etkilenmişti. Bu makalelerde Bohr, elektronların düşük yörüngelerden yüksek yörüngelere geçişinde yutulan ışıma sayesinde atomların enerji depoladığını ve elektronların tekrar düşük yörüngelere geri düşmesi suretiyle bu enerjiyi geri yaydığını açıklıyordu. Bu süreçte, yörüngeler arasındaki enerji seviyesi farkına karşılık gelen belli frekanslarda ışık salınıyordu. Bir elementin kuantum yapısının parmak izi olan spektrumunu meydana getiren olay budur. Fakat Bohr'un bu çalışmasında dahi elektronların yörüngeler arası geçişinin zamanlaması konusunda olasılık kavramı kullanılmıyordu. Ancak Einstein'ın genel rölativite teorisini tamamladığı 1915 yılının sonlarına gelindiğinde ışık kuantası konusuna geri dönüş yapmış ve onun madde tarafından nasıl yutulup salındığını incelemiştir.

Einstein'ın çabaları kısa sürede başarıyla sonuçlandı. Ağustos 1916'da yakın arkadaşı Michele A. Besso'ya "Radyasyon emilim ve salınımı ile ilgili parlak bir fikir doğdu aklıma, senin de ilgini çekecektir. Son derece basit bir türetme işlemi, demeliyim ki, Planck'ın formülünün türetilmesi" diye yazdı.[6] Birkaç hafta sonra Besso'ya nedenini açıkladı. Planck, yazdığı formülde titreşen birimlerin belirtilen ilişkiyi verecek şekilde çalıştığını farz etmişti. Planck'ın makaleleri ε ve h arasında bir ilişki ortaya koymuyordu.[7] Einstein, özel ve genel rölativite teorisini geliştirirken izlediği stratejiyi uyguladı ve ışığı yayan ve yutan maddelerin ne olduğu sorusunu görmezlikten gelip sadece formülün türetilmesine odaklandı. Fakat bunu yapmak, bir olasılık faktörünü de temelde işin içine katmayı gerekli kılıyordu.[8]

Einstein'ın 1916 ve 1917'deki makaleleri atomlar seviyesinde gerçekleşen geçişlerin konu alındığı fiziğin küçük bir köşesinden geliyordu. Ancak bu makaleler içerik itibariyle önemli kilometre taşlarıydı çünkü olasılığı ilk defa doğanın temeline yazmışlardı. Sonraki on yılda gelecek olan fizikçiler bu temeli büyük ölçüde genişletecekti. Bu halde dahi olasılığın bilimde giderek önem kazanan rolü sadece fizikçiler tarafından bilinen teknik bir özellik olarak kaldı.

Bütün bunlar, 1925-27 yılları arasında Schrödinger'in dalga denklemi ve belirsizlik ilkesi ile gelen kuantum devrimi sayesinde değişecekti. İngiliz astronom Arthur Eddington'un *Fiziksel Dünyanın Doğası* isimli kitabında, ola-

6 A. Einstein'dan M. Besso'ya, 11 Ağustos 1916, *The Collected Papers of Albert Einstein* içinde, Cilt 8, No. 250, çev. A. Hentschel, Princeton University Press, Princeton, 1998, s. 243.

7 A. Einstein'dan M. Besso'ya, 6 Ekim 1916, *Collected Papers* içinde, Cilt 8, No. 254, s. 246.

8 Planck'ın 1912'deki makalesi (daha önce değindiğimiz) olasılık kavramını tanıtıyordu ancak Einstein, aynı üniversitede komşu oldukları halde, Planck'a atıfta bulunmamıştır ve sonrasında gelen gelişmeler üzerinde etkili olan çalışma Einstein'ın çalışması olmuştur.

sılığın genel anlamda kuantum teorisindeki ve özel anlamda belirsizlik ilkesindeki rolüne dikkatleri çekmesiyle, kuantum rastgeleliği ve olasılığı kavramlarına yapılan atıflarda 1927'den sonra keskin bir artış görüldü. "Eskiden fizik, kader anlayışını destekliyor gibiydi, ancak şimdi kuantum teorisi bu düşünceyi kaldırdı" diyordu. "Kuantum teorisi olasılıkların determinizmidir, sağlam bir formüldür. Ancak kısıtlanmış bir determinizm mümkündür. Atomların hareketi, akıl hastanesindeki sorumsuz delilerin her birinin belirlenmiş genel hastane kurallarını takip etmesi gibidir". Eddington ve onun popüler kitabı sayesinde insanlar, evrende rastgeleliğin rolünü gösteren kuantum teorisinin, bir felsefe olarak determinizmin sonunun habercisi olduğu fikrine aşina oldu.

1930'ların şafağında *New York Times*; "30'lar 20'lere kıyasla daha sakin olabilir çünkü insanların daha içine kapanık hale gelme olasılığı bulunuyor. Ancak bu kehanet, rölativite ve kuantum bilimlerinin 20'lerde olasılık kavramına neler yaptığını göz önünde bulundurduğumuzda biraz tehlikeli görünüyor" diye yazıyordu.[9]

FORMAN TEZİ

Birinci Bölüm'de, Newton mekaniğinin o dönemin sosyal kuvvetleri tarafından tahrik edildiğini iddia eden Boris Hessen'in örneklemesine bakarak bilim tarihine dışsalcı yaklaşımdan söz etmiştik. Bir diğer klasik örnek kuantum mekaniği tarihine yöneliktir ve bilim tarihçisi Paul Forman'ın çalışmaları etrafında şekillenir. Forman'ın etkili ve tartışmalı çalışması kuantum döneminin aslında Birinci Dünya Savaşı sonrası Weimar Almanyası'nda ortaya çıkmış olan kriz-takıntılı, romantik ve anti rasyonel fikirler akımının bir yan ürünü olduğunu iddia eder. Forman'ın çalışması, ikinci bölümün sonunda ileri sürümüş olduğumuz bir soruya yönelik özel bir yaklaşım ortaya koyar; Bir bilimsel aktivite ile onun ortaya çıktığı kültürel atmosfer arasında nasıl bir ilişki vardır? İkinci bölümde, roman yazarlarının kuantum dilini ve imgelerini güncel deneyimleri tarif etmede özellikle kullanışlı bulduklarını belirtmiştir. Ancak Forman'ın yaklaşımı bundan oldukça farklıdır. Forman, dönemin bilimsel aktivitelerinin kültürel atmosfere ait bazı belirgin özellikleri kendine adapte ettiğini iddia etmiştir.

1960'ların başında Forman, bilim tarihi alanında yüksek lisans çalışması yapan bir öğrenciydi ve "Kuantum Fiziği Tarihinin Arşivi" isimli bir pro-

9 "The 'Thirties'", *The New York Times*, 29 Aralık 1929, s. E4.

jeye katılmıştı. Bu proje, kuantum fiziğinin erken tarihi ile ilgili bir veri bankası oluşturmak amacıyla belgeler toplayan, yazıları derleyen ve sözlü mülakatlar gerçekleştiren sistematik bir çabaydı. Bu iddialı proje beklentilerin ötesinde başarılı oldu ve pratik olarak bilim alanında çalışan bütün tarihçiler için bir ana temel teşkil etti.[10] 1960'larda pek çok diğer tarihçi gibi dönemin sosyal ve politik olaylarının heyecanından aldığı ilhamla Forman (konuşma özgürlüğü hareketi yıllarında California Berkeley Üniversitesi'nde çalışıyordu), incelediği alanlarda sosyal ve politik faktörlerin rolü ile ilgili yeni sorular soruyordu. "Weimar Almanyası'nda Atom fiziğinin Ortamı ve Uygulaması: Bilim Tarihi Alanında Bir Çalışma" başlığını taşıyan ve 1967'de tamamladığı doktora tezinde Birinci Dünya Savaşı'nın hemen ardından Alman fizikçilerini etkilemiş olan ekonomik ve politik faktörleri inceledi.[11] Meslektaşı tarihçi John Heilborn, Forman'ın tezini önemli bir açığa vurma olarak niteledi.[12]

İki yıl sonra Forman, x-ışını kristalografisinin keşfi hakkında tartışmalı bir makale yayınladı. Makalede, bilimsel literatüre ve bilim insanlarının kendi çalışmaları hakkında anlattıklarına aşırı derecede bel bağlayan tarih formunu eleştirdi. Bu makale, söz konusu keşfin ellinci yıl dönümünde, P.P. Ewald tarafından kaleme alınmış ve "X-Işını Kırılmasının Elli Yılı" (1962) ismi ile yayınlanmış olan hatıralardan esinlenmişti. Forman'ın 1969'daki bu yazısı bilim tarihi dergisinde yayınlandı ve bilimsel makalelere ve bilim insanlarının anılarına aşırı derecede bağlı kalınarak yazılan tarihin ideolojik temelli mitleri güçlendirdiğini, keşif sürecinin karmaşasını göz ardı ettiğini ve bilimi hem uygulama hem de kavram bağlamında gerçekten olduğundan daha saf bir şekilde portre ettiğini iddia etti.[13] Ewald, Forman'ın yazısına çıkışarak makaleyi "literatürün taraflı bir gözle incelenmesinin ne gibi sonuçlar doğurduğuna örnek olması dışında bir değeri yok" şeklinde niteledi. Bu karşılıklı atışmadan il-

10 Cathryn Carson, Alexei Kojevnikov ve Helmuth Trischler, "The Forman Thesis: 40 Tears After", *Weimar Culture and Quantum Mechanics Selected Papers by Paul Forman and Contemporary Perspectives on the Forman Thesis* içinde, C. Carson, A. Kojevnikov ve H. Trischler (der.), Imperial College Press, Londra, 2011, s. 3.

11 Paul Forman, Doktora tezi, University of California, Berkeley, 1967.

12 Heilborn şöyle yazar: "büyük enflasyon ile ilgili sahip olduğu zengin bilgiden ayrı olarak Almanya'nın savaş sonrası izole olmasının sonuçları, politik ve askeri gücün yerini entelektüel yaşamın alması, üniversitelerde anti-semitizm ve bunun gibi meseleler göstermiştir ki, tarihçilerin sahip olduğu kaynak zenginliği ve güçlü analitik araçlar bilim tarihi üzerinde de etkisini gösterecek şekilde kullanılabilir. Forman bana, bilim tarihinin de tarih olduğunu, tarih yazmanın bilim yapmak kadar çaba gerektiren, yaratıcı ve faydalı bir iş olduğunu gösterdi" (J. L. Heilborn, "Cold War Culture, History of Science and Postmodernity: Engagement of an Intellectual in a Hostile Academic Environment", *Weimar Culture and Quantum Mechanics* içinde, s. 11).

13 *Archive for History of Exact Sciences* 6, 1969, s. 38-71.

ham alan derginin editörü "bilim insanları karanlık ortaçağ rahipleri kadar inatçı ve batıl inançlılar" tespitinde bulundu. Bu cümle, yaşam öykülerinden ve kişisel anılardan yön (rehberlik) alan içsel eğilimin ve bilim tarihini kendilerine özgü araçlara sahip alan profesyonel tarihçilerin bölgesi olarak gören dışsal eğilimin klasik bir örneğiydi. "Konuşma yetkisi olayı bizzat yaşamış kişide midir, yoksa olayı dışarıdan izleyen eğitimli gözlemcide midir?" sorusundan ortaya çıkan bu çatışma kolayca çözülemeyen bir çatışmadır.

Bunun ardından iki yıl sonra Forman, "Weimar Kültürü, Nedensellik ve Kuantum Teorisi, 1918-1927: Alman Fizikçi ve Matematikçilerin Muhalif Ortama Adapte Olması" başlığını taşıyan en tartışmalı makalesini yayınladı.[14] Bu makale, sonrasında Forman tezi olarak bilinen tartışmayı ele alıyordu. Bu teze göre nedenselliğe uymayan ve olasılıklara dayalı olan kuantum mekaniğinin çıkış kaynağı bilimsel gelişmeler değil, fakat daha ziyade Weimar Almanyası kültüründeki hâkim düşünce akımlarının karakteristiğidir. Forman, bu düşünce akımlarının fizikçilerin kuantum teorisine yönelimlerini sağladığı ve eleştirileri şekillendirdiğini iddia ettiği gibi teorinin bizzat kendisini etkilendiğini de iddia etti.

Forman, kültürün entelektüel atmosferi nasıl etkilediği konusunda belirsiz ifadeler kullanan (kültür entelektüel atmosferi bu veya şu gelişmelere hazırladı gibi) tarihçileri küçümseyen bir yaklaşımla başlar. Forman'a göre tarihçiler, bilim insanlarının entelektüel akımlar tarafından süpürüldüğü koşulları ve buradaki etkileşimleri gösteren nedensel bir analiz üzerinde ısrar etmelidir. Kuantum fiziğine uygulanması halinde böyle bir analiz, Alman bilim insanlarının Weimar Almanyası'nın entelektüel ortamına, bilimin temellerini nedensellikten ve kesin determinizmimden vazgeçirmek suretiyle yeniden inşa ederek tepki gösterdiğini ortaya çıkarır.

Forman'ın makalesi aşamalar halinde gelişir. Forman birinci aşamada Almanya'nın 1918'deki beklenmedik yenilgisinin entelektüel atmosferi nasıl dramatik bir şekilde değiştirdiğini anlatır. Sonuç, kendini krizlerde gösteren ve analitik akılcılığa, kesin bilimlere ve onların teknik uygulamalarına muhalif yaklaşım ile karakterize edilmiş yaşamın neo-romantik, varoluşçu felsefesiydi. Forman'a göre bu akımı en iyi özetlemiş olan kişi, 1918 yılında "Batı'nın Gerilemesi"ni yayınlamış olan Alman tarihçi Oswald Spengler idi. Spengler'in bu çalışması, medeniyetlerin organizmalar gibi olduğunu ve büyüme, olgunluğa erme ve bozunma süreçlerinden geçtiğini iddia eder. Bu id-

14 *Historical Studies in the Physical Sciences* 3, 1971, s. 1-115, alıntıların yapıldığı tekrar basımı *Weimar Culture and Quantum Mechanics*, s. 87-201.

dianın anahtar noktalarından biri sanat, felsefe ve din kadar bilim ve matematiğin de dahil olduğu bütün kültürel eylemlerin içinde geliştikleri medeniyetin karakteri ile şekil aldıkları ve bu medeniyetin dışında bir anlamlarının olmadığı iddiasıdır. Spengler nedensellik fikrinin, kaderin akılcı olmayan kuvvetlerini savmak için kültürlerin umutsuz çabasından gelen yapay bir ürün olduğunu söyler. Forman, 1919'da yayınlanmış olan bir makalede, ünlü bir kültür ve eğitim bakanın "Rasyonel olamayana saygıyı yeniden kazanmak zorundayız" şeklindeki sözüne atıfta bulunur.

O güne kadar kültürel prestijin tadını çıkaran fizikçiler kendilerini aniden saldırı altında buldu. Forman, Weimar entelektüel ortamının bilime temelden ve açık olarak muhalif olduğunu belirten Planck'ın sözlerine atıfta bulunur. Fizikçiler, nedenselliğin teorilerdeki varlığını istenmedik bir şey olarak görmeleri ve ardından da nedenselliği tümüyle reddetmeleri suretiyle ortamın baskılarına adapte olmuşlardır.

Forman, "nedensellik karşıtlığına yarı-dinsel bir dönüş" olarak tanımladığı ve 1919'dan 1925'e kadar fizikçilerde görülen yönelime atıfta bulunur. Forman, "Sanki büyük bir uyanış ile süpürülmüş gibi fizikçiler, nedensellik adı verilen bu şeytani doktrini akademik kitlenin karşısında birer birer reddetmeye başladılar ve fizikçilerin dünyayı nedenselliğin boyunduruğundan kurtarmak üzere olduklarını beyan ettiler" der. Forman, makalesinin ilk bölümünde "Alman akademik dünyasında yaşanan bu akımları bir teslim olma süreci görürüz" der. Bu teslim olma, nedenselliğe dayalı olmayan kuantum mekaniğinin icadından önce atomlar ölçeğinde nesnelliğin elde edilemeyeceğine dair bir inanışın ortaya çıkmasını sağlamıştır. Forman, fizikçilerin aslında nedenselliğe, mekanizme ve rasyonalizme muhalif bir kitleye oynadıklarının ne derece bilincinde olduklarını sorgular.

Forman, pek çok Alman fizikçinin nedenselliği, temelinde nedensel olmayan kuantum mekaniğinin icadından önce 1918'de aniden terk etmeye başlamasının bir tesadüf olmadığını söyler. Atom fiziğindeki asli problemlerin burada ikincil bir rol oynadığı sonucuna varmak kaçınılmazdır. En önemli faktör, Alman akademik toplumu üyesi olarak fizikçilere uygulanan sosyo-entelektüel baskıydı. Forman tezi hakkında yazılmış bir kitabın editörü şöyle yazar:

> Metodik bir model olarak Forman'ın çalışması, bilim tarihi alanında yayınlanmış, Boris Hessen'in *Newton Fiziğinin Sosyal ve Ekonomik Kökenleri* isimli 1931'deki ünlü ve tartışmalı klasik mekanik analizi çalışması ile be-

> raber en etkin yazılardan biridir. Her iki çalışma da kendi içinde, bilimsel metot ışığında ve gerçek bilgi kriteri altında soyut gerçeklik arayışı formunda saf entelektüel bir aktivite olarak bilimin Platonik ideolojisini baş aşağı etmiştir. Bunun yerine bilimi, ayakları dünyaya basan insani, sosyal ve kültürel bir aktivite olarak kabul etmiş ve bu kabulün epistemolojik sonuçlarını da kabul etmiştir.[15]

Forman'ın tezi, bilim ve kültür arasındaki etkileşimin, kabul ettiğimizin tersi bir yöne olduğunu iddia eder. Söz konusu sürece, bilimin, yeni terimler ve imgeleri kültüre nasıl kazandırdığı şeklinde bakmak yerine, daha derin bir sürecin işlerliğine bakmalıyız; kültürel aktivite bilimle nasıl bağlantı kuruyor ve onu değiştiriyor.

Buna rağmen Forman'ın tezinde ciddi kusurlar vardır. Pek çok akademisyen Forman'ın verdiği önemli bazı örnekleri yanlış sunduğunu savunur. Diğerleri, olasılığın kuantum teorisine dahil edilmesinin Forman'ın verdiği 1918 tarihinden önceye gittigini söyler (Einstein'ın 1916-17 çalışmaları). Diğerleri de Forman'ın sunduğu delilleri eleştirir ve bilim insanlarına ait kullandığı alıntıların bilimsel makalelerden değil fakat genel topluma yönelik söylemlerden geldiğini söyler. Bu suretle Forman'ın, fizikçilerin iç gelişmelerini ve profesyonel meslektaşlarıyla olan konuşmalarını göz ardı ettiğini iddia eder.

Daha önemlisi, önceki bölümde gördüğümüz üzere, kuantum sıçramaları ve kuantum zıplamaları terimlerinin metaforik değişimleri, Forman'ın izlediği yol ile bilim ve kültür arasındaki bağı anlamaya çalışmanın yanlış bir başlangıç olduğunu öne sürer. Başlangıç noktası dünya ile olan kendi deneyimimiz olmalıdır. Bu başlangıç tarafsız değildir ve belli bir karakter içerir ve bu karakter dünya hakkında konuşurken belli bir yol izlememizi teşvik ederken diğer yolları teşvik etmez. Gördüğümüz gibi bu süreç sanat, edebiyat ve felsefedeki dil ve imgelerin benimsenmesini yönlendiren bir süreçtir. Antony Gromley'nin Thames kıyısında yükselen heykeline Kuantum Bulutları ismini vermesini sağlayan veya Valerie Laws'ın şiir-üretme metoduna Kuantum Koyunları ismini vermesini sağlayan şey işte bu süreçtir. Yine bu süreçtir, Tony Zurlo'ya, kitabına Kuantum Kaos ismini vermesini ilham eden şey.

15 Carson, Kojevnikov ve Trischler (der.), *Weimar Culture and Quantum Mechanics*, s. 2.

EINSTEIN TANRI'NIN NASIL ZAR ATTIĞINI GÖSTERİYOR

Einstein'ın kuantum fiziğine olan her bir katkısı gösteriyor ki kendisi 20. yüzyılda termodinamik ve istatistiksel mekaniğin en önde gelen ustasıydı. Bu alanlar, olasılık ve rastgeleliğin ve dolayısıyla da istatistik teorisinin hâkim olduğu Newton fiziği konularıydı. Bu konuları kuantum fiziğinin çekirdeğine ve doğanın temeline yerleştiren kişi Einstein olmuştur (her ne kadar sonrasında Tanrı zar atmaz diyerek bu olayı protesto etmiş olsa da).

1916-17'de yayınladığı makalelerinde Einstein ışığı parçacıklar şeklinde ele almıştır. Bu düşünceyi ilk defa fotoelektrik olayı üzerine yazdığı 1905'teki makalesinde ortaya atmıştı ve ardından "belli bir sıcaklıkta termal denge noktasında bulunabilmesi için molekül ve fotonlardan oluşan bir sistemde ışık parçacıklarının dağılımdaki koşullar nedir?" sorusunu sormuştu. Moleküllerde değişik seviyelerde enerji uyarılmaları için olasılık dağılımlarının belirlenmesinde kullanılan ortak kabul görmüş ilkeler halihazırda mevcuttu. Işığın nasıl davrandığını izah eden bu ve benzeri bilgilerden yola çıkarak Einstein, Planck'ın 1900'lü yıllarda şüpheli ve ikna edici olmayan metotlar ile keşfettiği ışık enerjisindeki dağılımı kesinlik ile hesaplamayı başardı.

Einstein, dışarıdan ışık ışımasına maruz bırakılan ve "molekül" diye isimlendirdiği bir madde parçası hayal etti. Bu madde ışımaları nasıl yutup nasıl geri salar? Denge noktasında olduğunu kabul edelim. Yani eşit oranla enerji yuttuğunu ve geri saldığını düşünelim. Söz konusu harici ışık ışımasının etkisi altında kalan maddenin yaydığı ışıma miktarı, harici başka fotonların olmadığı duruma kıyasla artış gösterir. Einstein, termodinamik denge fikrini göz önünde bulundurarak harici ışıma etkisi altında bir atomun foton yayma oranının, aynı atomun boşluk içinde bulunuyor olması durumuna kıyasla daha büyük olduğu sonucuna vardı. Bu harici ışımanın varlığı oyun bahçesine giden bir grup çocuğun diğerlerine "gel sen de bize katıl" demesi gibidir. Fotonlar bu koşul altında dışarı daha kolay salınıyor. Einstein bu olayın nasıl çalıştığını, ışığı yutma ve geri yayma süreçlerinin birbiri ile nasıl bir ilişki içinde olduğunu hesapladı. Hesabın bir bölümü atom ve elektronlar ile alakalıyken diğer bölümü de etraftaki fotonlar (oyun bahçesine giden çocuklar) ile alakalıdır. Ancak atom ışığı ne zaman yayacak ve yayılma ne yönde gelişecek? Bunların her ikisi de önceden kestirilemez. Einstein ilk makalesinde "ne zaman" sorusundaki rastgelelik melesini ele aldı. 1917'de yayımlanan ikinci ve üçüncü makalesinde ise "ne yönde" sorusundaki rastgelelik melesini izah etti.[16] Bunu yapabilmek için de bir olasılık faktörünü hesaba katması gerektiğini kabul etti. Einstein yayımladığı makalelerden birinde "Ortaya atılmış olan istatistik ışıma yasası Rutherford'un radyoaktif bozunma yasasından başka bir şey değildir" diye yazmıştı. Einstein,

16 En çok atıfta bulunulan üç makale: "Quantentheorie des Strahlung", *Physikalische Zeitschrift* 18, 1917, s. 121-28, tekrar basımı "On the Quantum Theory of Radiation", *Sources of Quantum Mechanics* içinde, B. L. van der Waerden (der.), North Holland Publishing Co., Amsterdam, 1967, s. 63-78. İkinci makale: *Physik. Gesell. Zurich Mitt* 16, 1916, s. 47-62; Üçüncü makale: "Strablungsemission und Absorption nach der Quantentheorie", *Verh. Deutsch. Phys. Ges.* içinde, 18, 1916, s. 318-23 ve s. 16.

olasılıkların atom sistemlerine ait temel fiziksel özellikler olarak kabul edilmesi gerektiğini söyledi. Bu gerçek, Planck'ın yasasının son derece basit ve genel bir metot ile türetilmesini mümkün kıldı.[17]

Ancak aynı zaman içinde Einstein ilk pişmanlığını da yaşadı. Makalesinde "temel fiziksel süreçlere ait zaman ve yönelimi tamamen şansa bırakıyor olması bu teoriye ait bir zafiyettir" diye yazıyordu. Fotonların ne zaman ve hangi yönde harekete geçeceğini bilmenin hiçbir yolu yoktu. "Yine de takip ettiğimiz metoda güvenim tam" diye ekliyordu.

Fizik bilgisi ile sezgilerinin doğrudan bu denli çatıştığı bir konuda Einstein'ın yaptığı bu yorumlar ne kadar ciddiye alınmalı bilemeyiz. Takip ettiği metodun kendisini, vardığı noktadan başka bir yere götürmüş olmasını umut etmiş olduğu açıktır. Einstein, arkadaşı Besso'ya "gizemlerin ebedi mucidinin (yani Tanrı) bizlere yaptığı esas şakanın kesinlikle henüz anlaşılmamış olduğunu düşünüyorum" diye yazmıştı.[18] Nedenselliğin bu şekilde açıkça terk edilmiş olması o günden sonra içini kemiren bir mesele oldu hep. 1920'de Max Born'a yazdığı gibi:

> Nedensellikle ilgili bu mesele beni de rahatsız ediyor. Işığın kuantumsal anlamda yutulması ve salınması olayı tam nedenselliğin koşulları altında anlaşılabilir mi yoksa istatistiksel bir kalıntı mı? İtiraf etmeliyim ki kanaat belirtecek cesarete sahip değilim. Nedenselliği, ancak çok çekinerek tam olarak terk ederim.[19]

Birkaç yıl sonra Einstein, Born'a tekrar yazarak Tanrı'nın zar atıyor olduğuna inanamayacağını ifade etti. Ancak Tanrı'nın gerçekten bu şekilde yaptığını ilk ima etmiş olan kişi, Planck'ın formülünü basit şekilde türetmeyi başarmakla bizzat Einstein'ın kendisi olmuştur.[20]

Yaşamının sonlarına doğru 1950'de Cleveland'da bir grup doktorla yaptığı sohbeti sırasında Einstein, kuantum fiziğindeki rastgeleliği izah eden en basit örneklemelerden birini yapmıştı: Farz edin ki yayılmakta olan bir dalga, yayıldığı ortamı başka bir ortamdan ayıran bir sınır çizgisine doğru ilerliyor. Maxwell'in teorisi, bu sınırdan geçecek ve geri yansıyacak iki dalga oluşacağını garanti eder. Bu dalgayı o kadar zayıf hale getirin ki sadece ayda tek bir foton erişiyor olsun. Bu durumda foton geçiş mi yapacak yoksa çarpıp geri mi yansıyacak? Bunu bilmenin bir yolu yok. Her iki olay için ihtimalin ne olduğunu söyleyebiliriz. Ancak nihayetinde hangisinin gerçekleşeceğini bilemeyiz. Bu durum kuantum fiziğindeki olasılığın en açık örneğidir. Konuşmasının sonunda Einstein bu konunun ileride nasıl gelişeceğini sordu. Gizemli fakat dürüst bir ifadeyle "belki bu soruya en iyi bir tebessüm ile cevap verilir" dedi.[21]

---

17 Einstein, *The Collected Papers of Albert Einstein*, Cilt 6, No. 34, çev. A. Engel, Princeton University Press, Princeton, 1997, s. 216-17.

18 Albert Einstein'dan Michele Besso'ya, *Collected Papers*, Cilt 8, No. 306, 9 Mart 1917, s. 293.

19 Albert Einstein'dan to Max Born'a, 27 Ocak 1920, *The Collected Papers of Albert Einstein* içinde, Cilt 9, No. 284, çev. A. Henschel, Princeton University Press, Princeton, 2004, s. 237.

20 Jammer'in *Conceptual Development*, s.113'te belirttiği gibi. Ancak Einstein bunu bir ön sonuç olarak değerlendirmiştir.

21 Albert Einstein, "Physics, Philosophy, and Scientific Progress", *Physics Today*, Cilt 58, Haziran 2005, s. 46.

BEŞİNCİ BÖLÜM

Kimlik Meselesi: Henüz Düşmemiş Bir Kuantum Ayakkabısı

Yamacın kenarındaki küçük kutular,
Çaputtan yapılmış küçük kutular,
Yamacın kenarındaki küçük kutular,
Hepsi bir küçük kutular.
Bir tane yeşil bir tane de pembesi var
Ve bir tane mavi, bir tane de sarısı var,
Ve hepsi çaputtan yapılmış küçük kutular...

Ve çocuklar işe başlar
Evlenir ve aile olurlar
Çaputtan yapılmış küçük kutularda
Ve hepsi birbirinin tıpatıp aynısı.
Ve biri mavi ve diğeri sarı,
Ve hepsi çaputtan yapılmış küçük kutular
Ve hepsi birbirinin tıpatıp aynısı.

– Malvina Reynolds - "Küçük Kutular"

Yarım asır önce klişelerin protesto edildiği bir dönemde, şarkı yazarı Malvina Reynolds 1960'ta yazdığı "Küçük Kutular" başlığını taşıyan şiirinde dönemin evlerini eleştirdi. Evler, sadece farklı renklerde olduğu için birbirinden farklıydı ancak onun dışında aslında tamamen aynıydı.

Kimlik meselesi işe endişe karıştıran bir meseledir ve bir çeşit sosyal paratonerdir. Kimlik politikası topluluk menfaatlerini geliştirmeye odaklanan bir politik aktivitedir. Cinsel kimlik, bireylerin kendilerini ne şekilde maskülen veya feminen olarak tanıttıkları ile alakalıdır. Sosyal kimlik, çok sayıda sosyal topluluğun içinde bireyin hangisine taraf olduğuna göre ortaya çıkan benlik konumu ile alakalıdır. Kimlik oluşumu, bireylerin kendilerine

özgü bir kişiliği nasıl edindikleri ile alakalıdır. Ve kimlik hırsızlığı da bir bireyin bir başkası olarak kendini göstermesi şeklinde gerçekleşen bir suçtur.

Kimlik kavramı, benlik kavramı ile örtüşür ancak onunla aynı şey değildir. Benlik, her birimizi ayrı bir fert yapan şey iken kimlik ise aynı durumu devam ettirme koşulunu tanımlar. Kimlik, "herkes eşit olarak yaratılmıştır" diyen Amerikan bağımsızlık bildirgesindeki bu ifadeyi düşünecek olursak, eşitlik ile de aynı şey değildir (matematikteki eşitlik hariç).[1] Bağımsızlık bildirgesindeki bu ifade bütün insanların birbirinin aynısı olan kimliğe sahip olduğunu söylemez fakat her birinin birbirine eşit, içsel bir değere sahip olduğunu söyler. 2081 yılının Amerika'sında geçen, Harrison Bergeron'un yazdığı ve özel yetenekli insanların başkalarına kıyasla öne çıkmaları durumunda engelli insanlar haline getirileceklerine dair anayasa kuralını uygulayan "Engelleyici General"in anlatıldığı despot hikâyede, kimlik ile eşitlik denkleştirmesinin sonuçları incelenir. Bağımsızlık bildirgesindeki "herkes" ifadesi ilk başta sadece beyaz erkekleri ima ediyorken, sonrasında gerçekleştirilen bir dizi anayasal değişiklik ile genişletilmiş ve her ırkı ve nihayetinde kadınları da kapsar hale getirilmiştir. Kimlik meselesinde farklı koşullar altında birbirinden çok farklı tutumlar sergileyebiliriz. Bazen başka insanlarla eşit muamele görmek konusunda ısrar ederken başka zamanlarda ise özel ve benzersiz olarak görülmek ister ve yerine başkası getirilebilir olarak görülmeyi küçümseyici buluruz. Bu nedenle özde ve bütün detaylar noktasında birbirinin aynısı olan şeyler kavramı bize tehditkâr ve rahatsız edici gelebilir. Bu durum mikro dünyada karşımıza çıkan bir özelliktir ve gözlediğimiz dünyada bir benzeri yoktur. Kuantum mekaniğinde karşımıza sürekli çıkan bir soruyu beraberinde getirir. Kuantum dünyasında var olan bu kimlik özelliği insan ölçeğinde gözlediğimiz bütün bu farklılığa nasıl yol açmakta hatta onu nasıl meydana getirmektedir?

Çift Görmek başlığını taşıyan küçük kitabında tarihçi ve fizikçi Peter Pesic, "kuantum teorisinin kalbi kimlik ve benlik sorularına getirdiği radikal yeniliklerde yatar" demiştir.[2] Kimlik ve benlik kavramlarına yenilik getirmek

1 Matematikçi ve felsefeci Bertrand Russell ile ilgili ünlü bir hikâyede kendisi genel bir dinleyici kitlesine mantık ile ilgili bir konuşma yapmaktadır. Konuşmasında matematiksel sistemlerin postulatları mantıksal olarak çelişkili olsa dahi yine de bir sonucu ispatlamak mümkündür demiştir. Dinleyicilerin içinden kuşkulu biri "Bir, ikiye eşittir: Papa olduğunu ispatla!" diye seslendi. Russell istifini bozmadan cevap verdi: "Ben ve Papa ikidir; bu nedenle Ben ve Papa birdir" diye cevap verdi. Russell verdiği cevapta eşitlik ve kimlik kavramlarının denkliğinden istifade etmiştir. "Ben ve Papa birdir" ifadesi kimliği temsil eder. Öbür yandan "Ben Papayım" ifadesi ise denkliği temsil eden liberal bir ifadedir.

2 Peter Pesic, *Seeing Double, Shared Identities in Physics, Philosophy and Literature*, MIT Press, Cambridge, 2002, s. 98.

kolay bir iş değildir. Pesic'in gözlemlediği gibi Batı edebiyatı ve felsefesi geleneği, kimlik ve benliğin anlamını, nüanslarını ve çelişkilerini, Homer'in İlyada ve Odise destanlarındaki Hektor ve Odiseus karakterlerinden bu yana uzun bir süreç içinde incelemiştir. Benzersiz ve özgün bir varlık olmanın, yer değiştirebilen bir kimliğe ve gizlenmiş bir kimliğe sahip bir varlık olmanın anlamını sorgulamıştır. Destanda Athena'nın, babasına yardım etmesini sağlamak için Odiseus'un oğlu Telemakus'a görünmesi gibi tanrıların bazen insanlara yardım etmek için kimliklerini gizlemesi buna bir örnektir. Eski Yunanlılar için Pesic şöyle yazmıştır:

> Kimlik, insan himayesinin ötesinde silinmez bir şekilde kazınmış bir kavramdır. Tanrılar, benliğin şekillendiği büyük etki alanında yaşar ve alametlerini gösterir. Ancak sırları kader âleminde gizlenmiştir. Orada benlik kutsal bir varlıktır; sima veya isim gibi görünür olan bir şeyin, esrarlı ve görünmez bir şeyle birleşmesidir. Dış görünüş ve zamanın akışından bağımsız şekilde Odiseus'u diğerlerinden ayıran gizli ve silinmez bir işarettir. Filozofların ifade ettiği gibi görünür ve basit bir işaret olmanın çok ötesindedir. Belirli bir niteliği tanımlamayan ancak bu kişinin veya bu şeyin gerçekte o kişi ve o şey olmadığı tamamen farklı bir anlamdır. Bu derin benlik kavramı Hades'in karanlık diyarında dahi vardır. Ebedi olan, ancak Tanrılardan olandır.

Pesic, "Yunanlılar kimliğin ve benliğin, insan anlayışının çok ötesinde çok derin kavramlar olduğunu fark etmişlerdi" der ve devam eder:

> Kimlik izi, sadece gözlenebilen ancak kavranamayan tanrısal bir silinmezliğe sahiptir. Telemakus arkadaşını (kılık değiştirmiş Tanrı) dikkatli adımlarla takip etmesi gerektiğini bir şekilde bilmektedir. Eğer Tanrı gerçekten merhametli ise Telemakus babasını ve ayrıca kendini bulacaktır. Benliğin sırrı, belki de cemaat arayan bir ayin gibidir.[3]

Ancak Yunanların bu kimlik ve benlik anlayışı Batı'nın bu karmaşık ve tartışmalı konuyu incelemesinin sadece başlangıç adımıydı. Pesic'in örnekleri ünlü bir sahtekârlık vakasını konu alan Martin Guerre'in 16. yüzyıl hikâyesini de ihtiva eder. Bunun yanı sıra taklitçi karakterlerin yer aldığı Shakespeare'in pek çok komedisini ve Dostoyevski, Conrad ve Kafka'nın romanlarını da içerdiği gibi Leibniz, Newton, Davy, Dalton ve Maxwell'e ait bilimsel ve felsefi tartışmaları da içerir.

3 Pesic, *Seeing Double,* s. 14.

Kuantum dünyasının bütün özellikleri içinde parçacıkların kimlik özelliği en tuhaf olanıdır. Burada iki olasılık durumu söz konusudur: Birbirinin aynısı olup iç içe geçebilen nesneler (bozonlar) ve birbirinin aynısı olup da iç içe geçemeyen nesneler (fermiyonlar). Bozonlar, Bose-Einstein istatistiği adı verilen bir matematiksel kurala riayet eder. Fermiyonlar ise Fermi-Dirac istatistiği adı verilen bir matematiksel kurala riayet eder. Bu iki olasılık birbirinden bağımsız olarak 1924-25'te Satyendra Nath Bose ve Albert Einstein'ın bozonların özelliklerini bulması ve Wolfgang Pauli'nin dışlama ilkesinin fermiyonların davranışlarını izah etmesi ile keşfedildi. Daha önce gösterdiğimiz ve kitabın ilerleyen sayfalarında göstermeye devam edeceğimiz gibi, popüler kültür çoğu zaman kuantum tuhaflıklarını, terim ve imgelerini yaratıcı kuvvetlerle dolu gördüğü için sömürmüştür. Eğer Pesic'in iddia ettiği gibi kuantum teorisi kimlik ve benlik anlayışımıza bu denli radikal yenilikler getirmiş ise o halde bu konulardaki tartışmalarımızı neden yeniden canlandırmadı? Pauli ilkesi ve Bose-Einstein yoğuşması, tuhaf kimlik formlarını temsil ettiği halde popüler kültürde karşımıza hiç çıkmaz. Bugüne kadar bu terimleri hiçbir tişörtün veya kahve bardağının üstünde görmedik. Ünlüler anılarında bu konudan hiç bahsetmez. Bilinen hiçbir şair bu konuları kendi çalışmalarında esas almamıştır. Bir televizyon programının ismi olarak karşımıza çıkmaz. Bu konuyla ilgili şu ana kadar sadece soldaki karikatürü bulabildik.



PAULI DIŞLAMA İLKESİ

www.xkcd.com

Kimlik, düşmemiş olan kuantum ayakkabısıdır. Tuhaf kuantum dünyasının bu en tuhaf yönü bugüne kadar tuhafı seven ve onda anlamlar arayan popüler kültür tarafından neden daha belirgin şekilde hatırlanmadı? Bu kavrama henüz neden yetişilememiş olduğunu incelemek için yukarıda bahsi geçen iki kimlik kavramına daha yakından bakmamız gerekiyor.

WOLFGANG PAULI VE DIŞLAMA İLKESİ

Wolfgang Pauli, 1920 ve 1930'ların en etkin fizikçilerinden biriydi. Ancak etkisi yaratıcı olmaktan ziyade eleştirel yönde olmuştur. "Pauli her şeyi okurdu, herkesi tanırdı ve tanıdığı herkese özenle kaleme alınmış sivri dilli binler-

ce mektup yazardı. Eleştirileri genelde acımasızdı. Pek çok iyi fikri çoğu zaman dondurmuş ancak ondan daha fazla sayıda kötü fikri de öldürmüş soğuk bir rüzgâr gibiydi."[4] En ünlü ve yıkıcı eleştirilerinden birini "bu fikir o kadar kötü ki, hatalı bile denmez buna" ifadesiyle dile getirmişti. Paradokslarla dolu bir kişilik olarak Pauli günümüzde kuantum dünyasının bir sembolü olarak görülür. Aynı zamanda hem afacan bir çocuk gibiydi hem de akılsaldı, hem ilginç hem de kestirilebilirdi. Bilim için vazgeçilmezdi ancak tuhaf yönleri de vardı. Parapsikolojiye ilgi göstermiş ve Carl Jung ile bu konu hakkında yazışmıştı.

Pauli kuantum ile aynı sene, 1900 yılında Musevi ve Katolik karışımı Avusturyalı bir ailenin çocuğu olarak dünyaya geldi. 1918'de henüz liseyi bitireli iki ay olmuşken, rölativite teorisini konu alan ilk profesyonel fizik makalesini yayınladı. 1921'de doktorasını aldıktan iki ay sonra önemli bir bilim ansiklopedisi için 237 sayfadan oluşan ve rölativiteyi anlatan sunumunu tamamladı. Bu çalışması günümüzde halen detaylı ve derinlemesine bir çalışma olarak kabul edilmektedir.

Pauli, dışlama ilkesi veya Pauli ilkesi olarak bilinen ve kendisine 1945 yılında Nobel ödülünü getiren kuralı formülize ettiğinde henüz 25 yaşında genç bir adamdı.[5] Pauli ilkesi, kuantum fiziğinin temel bir kuralı olarak atomlarda elektron yapılanmasını tarif eden anahtardır. Bu yapılanma elementlerin kimyasal özelliklerini belirlediği için Pauli ilkesi aynı zamanda kimya bilimi için de temel bir kuraldır ve maddenin yapısında önemli rol oynar. Bu ilke aynı zamanda kendisine tabi olan elektronların ve diğer temel yapı taşlarının birbiri ile tıpatıp aynı olduğunu (yani birbirinden ayırt edilemez olduğunu) ima eder. Bu gerçek kuantum dünyasının en tuhaf yönlerinden biridir.

Pauli ile tanıştığım günü hatırlıyorum (yazar Goldhaber). 1958 yazıydı ve henüz 18 yaşındaydım. Üniversitede ilk senemi tamamlamış ve bir sömestr fizik dersi almıştım. Ailemle beraber İtalya'nın Varenna şehrinde fizik yaz okuluna gidiyorduk. Katılımcılardan biri olan Pauli biraz kederli görünüyordu. Bu durumu Heisenberg ile yaptığı ve kötüye giden işbirliğine bağladı. Pauli çalıştığı projenin saçma olduğu konusunda ikna olmuştu. Bunu fark etmesinin bu kadar uzun zaman almış olmasından dolayı üzgündü. Bu durumun, ilerlemiş yaşından dolayı artık işinin bitmiş olduğuna işaret ettiğini düşünüyordu. "58 yaşındayım, bu asır kadar yaşlıyım!" diyordu kendi kendine.

4 Robert P. Crease ve Charles C. Mann, *The Second Creation: Makers of the Revolution in 20th Century Physics*, Macmillan, New York, 1986, s. 90.

5 Wolfgang Pauli, *Zeitschrift für Physik* 31, 1925, s. 765.

Bu üzüntülü halinin bir diğer nedeni o zamanlar henüz teşhis edilememiş fakat birkaç ay içinde yaşamını kaybetmesine neden olmuş olan pankreas kanserinden de kaynaklanıyor olabilirdi.

Maddenin temel taşlarının birbirinden ayırt edilemez olabileceği düşüncesi klasik mekanikte karşımıza çıkmaz. Zaten klasik mekaniğin geçerli olmadığı durumlarda görebiliriz bu gerçeği. Klasik mekanikte nesnelere onları tanımlayan etiketler yapıştırmak ve hareketleri boyunca onları takip etmek zorundasınız. Her bir etiketlenmiş nesne, kendine ait bir geçmişe ve kendine ait bir gelecek seyrine sahip olmak zorundadır. Aksi halde Laplace'ın her şeyi bilen mükemmel aklı nesneleri takip etmeyi başaramazdı. Newton dünyasında etiketlenebilir olma kuralı söz konusuydu. Aynı türde olan atomların ve moleküllerin doğal olarak birbirinin aynısı olduğu düşünülüyordu. Çünkü bu durum, maddeyi kararlı yapmak için gerekli olan bir koşuldu. Ancak prensip noktasında düşündüğümüzde her birini ayrı ayrı takip edebiliriz. Aynı türden olan atomların birbirinin aynısı olduğu gerçeğini irdelemekten vazgeçen James Clerk Maxwell gibi bilim insanlarının bu durumu izah edecek bir açıklaması yoktu. Birbirinden tamamen ayırt edilemez atomlar üretebilen bir çeşit fabrika var olmalıydı. Maxwell'in düşünebildiği tek şey, bunun bir şekilde Tanrı'nın işi olmasıydı.

Ancak bir şeylerin eksik olduğuna dair bir ipucu vardı. Bu ipucu, 19. yüzyılın sonlarında Amerikalı bilimci Josiah Willard Gibs'in ortaya attığı bir bilmece formunda geldi. Gibbs, aynı sıcaklıkta ve aynı türde gazla dolu olan bitişik iki kutu hayal etti. Ardından kutuları birbirinden ayıran yüzeyi kaldırdığımızda neler olacağını düşünmemizi istedi. Söz konusu iki kutunun içindeki moleküller hızlıca birbirine karışır. Her bir molekülü farklı numaralar ile işaretlediğimizi düşünelim. Örneğin birinci kutudan gelen moleküller çift sayılarla ve ikinci kutudan gelen moleküller de tek sayılarla işaretlenmiş olsun. Tek ve çift sayılı moleküller hareketlerine ayrı yerlerden başlayacak ancak işlemin sonunda hepsi homojen şekilde karışmış olacaktır. Bu işlem tersinir olmayan bir işlemdir ve bu nedenle düzenin azalmasına paralel olarak entropinin artmasını bekleriz. Ancak entropide bu şekilde bir artış meydana gelmez. Bu durum, moleküllerin birbirinden ayırt edilemez olduğu anlamına gelir. Çünkü moleküllerin birbirinden farklı kimlikleri yoktur! Bu şaşırtıcı özellik, molekülleri bildiğimiz bütün mikroskobik nesnelerden (birbirinin aynısı olan beysbol topları veya tek yumurta ikizleri gibi) farklı kılar. Ancak kuantum teorisi ortaya çıkana kadar kimse bu gerçek ile ne yapacağını bilmiyordu.

Pauli'nin dışlama ilkesi birbirinin aynısı olan iki fermiyonun (elektronlar gibi yarım tamsayılı spin değerine sahip parçacıklar) aynı kuantum durumunu işgal edemeyeceğini söylüyordu. Bu ilke, fermiyonların birbirinden ayırt edilemez olduğu gerçeğini esas alır.[6] Pauli makalesinde "bu ilke için bundan daha açık bir neden ortaya koyamayız" diye yazmıştı. Ne ilke ama! Atomlardan kristallere, metallere ve kimyasal reaksiyonlara kadar maddenin bilinen tüm formlarının riayet ettiği temel yapısal bir ilke. Pauli bu ilkeye (Almanca ifadesiyle) *Aufbauprinzip* (yapılanma ilkesi) adını verdi: Atomların nasıl inşa edileceğini yöneten bir kuraldı bu. Peki bu kural neden parçacıkların ayırt edilemezlik özelliğine sahip olduğunu ima ediyordu? Eğer iki elektron ayırt edilebilir olsaydı (örneğin renk gibi ilave bir etikete sahip olsalardı) her ikisinin de aynı kuantum numaraları ile tanımlanan bir kuantum durumunu işgal etmemeleri için hiçbir neden olmazdı.

Dışlama ilkesi, atomların yapılanması veya elektronların atom çevresinde hangi konumları işgal edebileceği gibi durumların ötesinde daha pek çok şeyde etkiye sahiptir. Bu ilke ile beraber Birinci Bölüm'de bahsini ettiğimiz ve Charles Coulomb tarafından incelenmiş olan elektromanyetik kuvvet ve her bir elektronun tam olarak lokalize olmasına engel olan dalga özelliği beraberce maddenin şeklini belirler. Atomların ve moleküllerin çarpışmaya karşı koyarak neden birbirlerinden belli bir mesafe uzakta durduklarını açıklar. Çünkü söz konusu kuvvetlerin varlığı, elektronların birbirine çok yakın mesafelere gelmesine engel olur.

Örnek olarak iki helyum atomunu birbirlerine doğru bastırdığımızı farz edelim. Her biri diğerinden ayırt edilemez bir çekirdeğe sahiptir. Her biri çekirdek çevresinde mümkün olan en düşük enerji seviyesini işgal etmiş iki elektrona (zıt spinli) sahiptir. Eğer iki çekirdek birbirine çok yaklaşırsa, elektronların yarısı enerjilerini yükseltmek zorunda kalır. Çünkü dördü birden, yan yana getirilmiş çekirdeklerin çevresindeki en düşük enerji seviyesini işgal edemez. Bu kuralı ve aynı pozitif yüke sahip iki çekirdeğin birbirini iteceği gerçeğini birlikte düşündüğümüzde söz konusu çekirdekleri yan yana getirmenin çok büyük bir kuvvet gerektirdiğini görürüz. Bunu başarsak bile elektronlar halen dışa doğru itilmek zorundadır. Bu nedenle, iki insan bedenini onları tanınmayacak hale gelene kadar ezmeden aynı konumu işgal edecek şekilde birbirine doğru bastırmamızın mümkün olmayışının temel nedeni, onla-

6 Pauli ayrıca, fazladan iki değerli bir etiket (günümüzde elektronun spin değeri olarak bilinir) ihtiva eden herhangi tek parçacıklı bir durumun, foton polarizasyonuna benzediğini ve en fazla bir elektron tarafından işgal edilebileceğini öngördü.

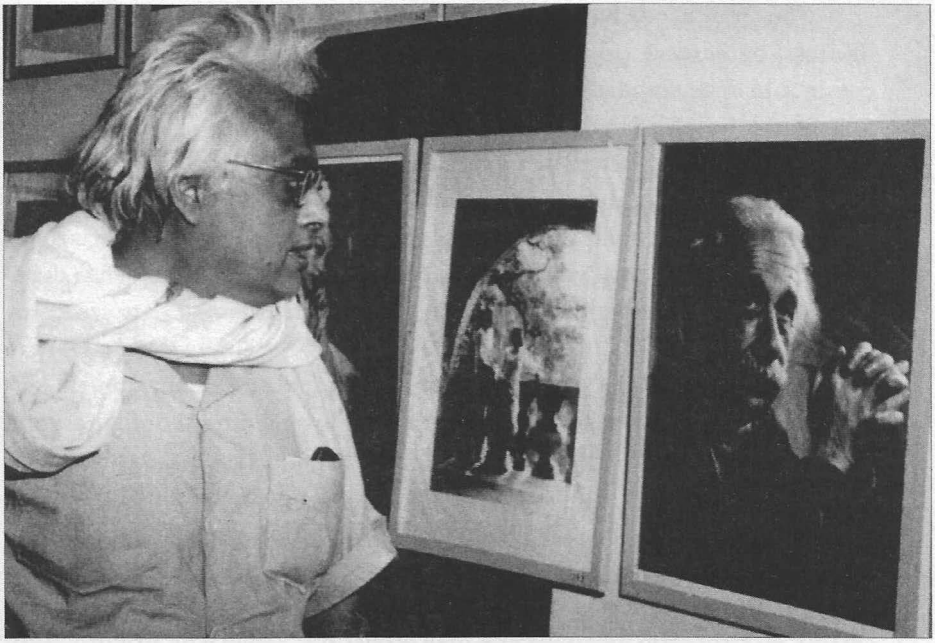
rı meydana getiren atomlardaki elektronları birbirine yaklaştırmanın ancak çok büyük ve imha edici kuvvetler gerektirmesidir.

Dışlama ilkesinin kimlik ve benlik üzerindeki etkisi bu nedenle son derece tuhaftır. Dışlama ilkesi bir yandan elektronların ayrı kimliklerinin olmadığını söyler; iki farklı durumu işgal eden elektronlar tamamen birbirinden ayırt edilemezdir. Diğer yandan da dünyamızı meydana getiren madde parçalarının benliklerinin bu kimliksizlik sayesinde meydana geldiğini söyler. Makro dünyanın benliği bir şekilde mikro dünyadaki bu kimlik eksikliği sayesinde mümkün oluyor.

SATYENDRA NATH BOSE, EİNSTEİN VE BOSE-EİNSTEİN İSTATİSTİĞİ

Elektronların ayırt edilemezliği düşüncesiyle bağıntılı olan dışlama ilkesine bağlı bir diğer tuhaf sonuç, Bose tarafından keşfedilen ve herhangi bir miktarda birbirinden ayırt edilemez parçacığın aynı durumu işgal etmesinin mümkün olduğu yapılanmadır. Bu yapılanmayı yöneten tek etiket, onda yer alan parçacıkların sayısıdır. İlk bakışta böyle bir yapılanmanın klasik dünyada karşılığının olmadığını görürüz. Elektronlar örneğinde olduğu gibi sadece iki değil, bu defa çok sayıda parçacık aynı "yeri" işgal edebilir! Örneğin iki veya elli veya milyar adet foton bir dalga boyu mesafe ile aynı konumu işgal edebilir. 1950'leri hatırlayanlar üniversite öğrencilerinin bir VW Beetle kullanarak yaptığı ünlü bir gösteriyi anımsayacaktır. Gösteride arabanın kapısı açılıyor ve içinden birbiri ardınca çok sayıda öğrenci çıkıyor. İzleyenler bu kadar çok insanın bu küçük hacmin içine nasıl sığdığını hayal etmekte güçlük çekebilir. Ancak yine de biliriz ki öğrenciler bunu bedenlerini değişik şekillerde bükerek başarır. Üst üste binmiş birden fazla bedenin aynı hacmi işgal etmesi söz konusu değildir elbette. Fotonlar klasik dünyanın bu ön kabulünü ihlal ediyor gibi görünür. Ancak milyar adet fotonun bir dalga boyu mesafe ile aynı konumu işgal etmesi durumunu klasik bir elektromanyetik dalga şeklinde gözümüzde canlandırabiliriz. Bütün bu birbirinin aynısı olan parçacıklar, parçacık özellikleri artık neredeyse gözlenemez olacak şekilde birbiri ile birleşir ve neticede salınım yapan elektrik alana sahip bir dalga meydana getirir. Bu dalga, elektrik yüklü parçacıklara uyguladığı kuvvet sayesinde tespit edilebilen klasik elektromanyetik bir dalgadır.

Bu fikir Bengalli fizikçi Satyendra Nath Bose'dan geldi. Bose, 1894'te yeni yılın ilk günü dünyaya geldi. Doğduğu yer Kalküta şehrinden çok uzak değildi. Altı kız kardeşi olan Bose, son derece sıra dışı bir karakterdi. Pauli, o



Satyendra Nath Bose (1894-1974) Einstein'ın fotoğrafına bakarken (AIP Emilio Segrè Visual Arşivi).

dönemler dünya üzerinde bulunabilecek en gelişmiş teorik fizik eğitiminden istifade etmiş biriyken, Bose 20. yüzyılın yeni biliminin arka sularında yol almaya çalışıyordu. Sıra dışı öğrencilerden oluşan ve Kalküta'da 1909 mezunları olarak bilinen öğrencilerden biriydi. Bose'un hayat boyu arkadaşı olan Meghnad Saha bu öğrencilerden bir diğeriydi. Hemen her sınavda Bose birinci ve Saha da ikinci olurdu. 1914'te Bose, 11 yaşında bir kızla evlendi ve bu evliliğinden 9 çocuğu oldu.

Bose ve Saha Kalküta'da lisans ve mastır eğitimlerini bitirdikten sonra Avrupa'da yeni ortaya çıkan fikirleri öğrenebilecekleri başka bir yer kalmamış gibi görünüyordu. O dönemler Hindistan, anti-koloni hareketinin erken evrelerini yaşıyordu. Bengal, bu hareketin önemli bir merkeziydi çünkü İngilizlerin sinsi "böl ve yönet" manevraları (Bengal'i, çoğunluğu Müslüman olan doğu kesim ve çoğunluğu Hindu olan batı kesim olarak ikiye bölme kararı) orada dikkat çekmiş ve geri tepmişti. Anti-koloni hareketi Bose ve arkadaşları için önemliydi ancak kariyerlerini korumak adına dikkatli olmak zorundaydılar. Çünkü eğitimci olarak çalışabilecekleri çok az sayıda yer vardı. Her ikisi de kendileri için yeni pozisyonlar açan sponsorlar bulmayı başarmıştı.

Bu süreç içinde bulabildikleri her yabancı kitap ve dergiden öğrenebildiklerini öğrenmeye çalıştılar. Nispeten daha gelişmiş bir bölge olan Bengal'de dahi deneyimli fizik eğitimcileri yoktu. Bunun üstesinden gelmenin bir yolu olarak Bose ve Saha, rölativite teorisi hakkında bir dizi makaleyi çalışıp İngilizceye çevirdi. Bose ayrıca genel rölativite teorisi hakkında Einstein'ın yazmış olduğu bir kitabı çevirip yayımladı. Bose ve Saha, müzik öğrencilerinin virtüözlerin eserlerini noktalaması misali bir yöntemle öğreniyorlardı.

1924'te Bose otuz yaşındayken, belli bir sıcaklıkta termal denge durumunda Planck'ın elektromanyetik ışıma yasasını izah eden bir ders verdi. Söz konusu ışımanın, 1905'te Albert Einstein'ın iddia ettiği gibi parçacıklardan (ya da orijinal ifadesiyle "kuanta") oluştuğunu kabul etti. Bunu yapmakla bir hataya düştü; çok sayıda fotonun aynı durumu işgal ettiği konfigürasyonu özel bir durum olarak kabul etti. Ancak nihayetinde Planck'ın vardığı sonuca ulaştı. Günümüzde fizik öğrencilerine Planck yasası anlatılırken Bose'un bu türetme metodundan faydalanılıyor. Daha önce de gördüğümüz gibi, bu metot Planck yasasının üçüncü türetme metoduydu. İlki 1900'de Planck'ın orijinal çalışması ve ikincisi ise 1916-17'de Einstein'ın termodinamikten yola çıkarak elektronların moleküller ile olan etkileşimlerinden elde ettiği çıkarımdı. Bose, yaptığı bu çalışmanın anlamını fark ettiğinde, bunun bir hata olmadığını fakat doğru bir kuantum hesaplaması olduğunu gördü.

Einstein dahil herkes, belli bir koşulda bulunan çok sayıda parçacığı saymak için, bu parçacıkların etiketlerinin mümkün olan farklı düzenleri için özel bir faktörü hesaba katmak gerektiğini kabul ediyordu. Bose, buna gerek olmadığını söyledi; sahip olabileceğimiz tek bilgi, söz konusu durum altında bulunan parçacıkların toplam sayısı idi. Açıkça ifade etmiş olmasa da bu tek hamle ile Bose, Gibbs paradoksunu çözmeyi başarmıştı (Pauli de benzer bir sonuca elektronların durumunu saymak için varmıştı). Pauli, kendi sayımında elektronların ayırt edilemezliğini temel almışken, Bose ise kendi sayımında fotonların durumlarının ayırt edilemezliğini temel almıştı. Bu nedenle Bose ve Pauli, parçacıkların durumlarının sayımında söz konusu parçacıkların ayırt edilemezliğini göz önünde bulundurmuştu. Maxwell ve Gibbs de bir benzerini 19. yüzyılda moleküller için yapmıştı. Klasik mekanik, bazı koşullar için gazların olası konfigürasyonlarını bu sayede başarılı bir şekilde açıklamıştı. Ayırt edilemezlik fikri, küçük moleküller misali iç yapıları kuantum mekaniği tarafından yönetilen parçacıkların kuantum hareketleri ve hatta klasik hareketleri için uygulanabilir.

Bose, makalesini İngilizce yazdı ve *Felsefe Dergisi* adında önde gelen bir İngiliz fizik dergisine gönderdi. Çalışmanın ret mi edildiği veya göz ardı

mı edildiği kesin belli değil; ancak Bose herhangi bir cevap almadı. Buna rağmen Bose kendinden emindi ve Einstein'a bir kopyasını gönderecek kadar cesurdu. Bose'un çalışmasından etkilenen Einstein, makaleyi İngilizceden Almancaya tercüme etti ve *Zeitschrift für Physik* isimli bir Alman dergisine gönderdi. Gönderisine bir not ekleyerek bu çalışmanın önemli bir gelişme olduğunu ve bizzat kendisinin de konuyla ilgili ayrıca makaleler göndereceğini yazdı. Einstein, kendisini fiziğin ilk ve tek Rock yıldızı yapan ününe halihazırda kavuşmuştu. Dergi, makaleyi hızlıca yayınlandı. Ardından yine Einstein'ın tercüme edip gönderdiği Bose'a ait bir diğer makale daha yanınladır. Bu ikinci makalede Einstein, Bose'un bazı iddialarını güçlendirdiği bazılarını ise eleştirdiği bir yorum yazısını da eklemişti.

NEDEN DÜŞMEMİŞ AYAKKABI?

Kimlik kavramı, makro ve mikro dünyada tamamen farklıdır. Her iki dünyada örneğin zıplama hareketinin büyüklüğüne göz atalım. Ortalama bir insan durağan halden yaklaşık yarım metre yükseğe zıplayabilir. Ortalama bir pire ise bunun yarısı kadar zıplayabilir. Her ikisinin beden kütlesi arasındaki büyük farkı düşündüğümüzde zıplama yükseklikleri yaklaşık aynıdır. Neden? Zıplama yüksekliğini belirleyen enerji kasların kasılması ile üretilir. Kasların kasılma miktarı kas liflerinin uzunlukları ve liflerin sayısı ile orantılı olduğu için kas kuvveti kasların kesit yüzey alanı ile orantılı olur. O halde enerji, hayvanın hacmi, dolayısıyla da kütlesi ile orantılıdır (hayvanların çoğunun kütle yoğunluğu yaklaşık birbirinin aynısıdır). Zıplama yüksekliği ile hayvanın kütlesinin çarpımı, söz konusu yüksekliğe zıplamak için gereken enerji ile orantılıdır. Bu ise kütlenin hesapta etkisiz hale gelmesi demek olur. Yani hayvanların hepsi yaklaşık aynı yüksekliğe zıplayabilir. Bu nedenle hayvanlar için ortak bir durum söz konusudur. Hepimiz aynı şeyden meydana geldik, ama bu şeyler her birimizde farklı bir düzen ile bir araya gelmiştir.

Bütün elektronlar da benzer şekilde, aynı koşullar altında aynı miktar enerjiye karşılık aynı miktar zıplama yapar. Fakat bu hareket tamamen başka bir nedenden dolayıdır. Elektronların kasları yoktur. Spin özellikleri hariç hiçbir iç yapıya da sahip değiller. Elektronlar, herhangi bir şeyden meydana gelmiş değildir. Bu nedenle iki elektron ayırt edilemez olabilir. Ancak çok sayıda molekülden meydana gelen iki pire için bunu söyleyemeyiz. Yine bu nedenden dolayı bir elektron, aslında bir pire gibi zıplayamaz. Zıplaması için tekmelenmesi gerekir.

Kuantum dünyasındaki kimlik kavramının klasik bir örneği yoktur. Günlük yaşamın bakış açısıyla bozonlar ve fermiyonlar kafa karıştırıcı şekilde tuhaftır. Mikroskobik ölçekte fermiyonların kimliği, tek yumurta olmayan ancak aynı zamanda doğmuş ikizlerin aynı mekânı işgal edebilmesi durumu gibidir. Bozonların kimliği ise, reklam filminde olduğu gibi çok sayıda insanın bir arabanın veya bir telefon kulübesinin içinden çıkması gibidir. Fermiyonlar ve bozonlar için kuantum kimliği "birini gördüyseniz hepsini gördünüz" sözünün mutlak uygulamasıdır. Atomlar ve orta boy moleküllere kadar mikroskobik ölçekteki parçacıklar bu tanıma mükemmel şekilde uyar. Yukarı spin özelliğine sahip bir tane elektron gördüyseniz, artık bilirsiniz ki yukarı spin özelliğine sahip bütün diğer elektronlar ilkinin tıpatıp aynısı olacaktır. Ancak ilki ve ikincisi ayrı konumlarda olmak zorundadır. Burada konum, bir dizi etikete sahip farklı kuantum durumlarını tarif eder.

Pesic, "Radikal şekilde benlik özelliğinin kaybolması şeylerin ardında var olan yeni derinlikleri ortaya çıkarmıştır" diye yazdı. Bu o kadar farklı bir durumdur ki Pesic, benlik özelliğinin veya bireyi birey yapan şeyin ayırt edilebilir olması konusunda ısrarcı olmuştur. Bir şeyin kendi aynılığını devam ettirmesi demek olan kimlik özelliği ise farklı bir şeydir. Bir varlık türü olarak düşündüğümüzde elektronlar, bu türün örneği olarak bir kimliğe sahiptir. Ancak bir elektronu diğerinden ayıran özelliklerin varlığı söz konusu değildir. Bu bağlamda birbirinin tıpatıp aynısı olan şeylerin kendilerine ait benlikleri yoktur. "Ben benim!" demelerini sağlayacak bir şey yoktur.

Pesic'in dediği gibi, "insan benliği anonim kuantaya dayalıdır". Bu insanların kolayca hazmedemeyeceği garip bir gerçektir. Eşitliği seviyoruz ancak kimlikten nefret ediyoruz.

WOLFGANG PAULI VE DIŞLAMA İLKESİ, SATYENDRA BOSE VE BOZONLAR

Pauli 1946'nın sonunda Nobel ödülünü alırken, Bohr'un kuantum teorisini ilk öğrendiğinde yaşadığı şoku anlatan bir yazı yazdı. Bu şokla mücadele etmede iki yaklaşım var diyordu. Birincisi, halihazırda sahip olduğumuz klasik dilden yola çıkan harici bir yaklaşımdı. Bu bağlamda kuantum dünyası, sanki konuştuğumuz yabancı bir dil gibi görülebilirdi. Klasik mekaniği ve elektrodinamiği kuantum diline tercüme etmemizi sağlayacak bir anahtar aranmalıydı. Bu yaklaşım Bohr'un yaklaşımıydı. Diğeri ise Pauli'nin hocası Sommerfled'e ait dahili bir yaklaşımdı. Tıpkı bir şifreyi kırmaya çalışır gibi, içeriden bir ipucu bulabilmek için hesaplarda bir işaret aranmalıydı.[7]

Pauli bu yaklaşımların her ikisini aynı anda uygulayabileceği bir yol bulmayı umut etmişti. Aramaya başlamak için tercih ettiği yer periyodik tabloydu. Bu tablo, sanki elektronlar gizemli $2n^2$ formülüne uygun tabakalar ile yapılanıyormuş gibi kimyasal elementleri 2, 8, 18 ve 32'lik gruplar halinde düzenler. Bunun nedeni neydi? 1922'de Pauli, Bohr'un "neden bütün elektronlar, K-tabakası olarak bilinen en düşük enerji seviyesini işgal etmiyor" diye sorduğu bir seminerini dinledi. 2 veya 8 sayısının özelliği neydi?

Ardından Pauli, Alman asıllı Amerikalı fizikçi Alfred Lande'nin görüşünü inceledi. Zeeman etkisi olarak anılan bir anomaliyi açıklamak için Lande, en dış tabakada bir elektronu bulunan bir atomun R parametresi olarak bilinen bir büyüklük için sadece iki değer alabileceği kuralını öne sürdü. Fizikçilerden biri Lande'nin bu kuralının, karmaşık ve geniş kapsamlı fenomenleri açıklamak için kullanılabilse dahi tamamen anlaşılmaz olduğunu söyledi. Fizikçi ve tarihçi Abraham Pais bu kuralı, "mantığın söyledikleri ile laboratuvarın söylediklerinin birbiri ile çeliştiği bilimin en göz alıcı anlarından biri" diye nitelemişti. Pais, "Lande'nin formülü aslında eski kuantum teorisi günlerinde, yetenekli fizikçilerin ne yaptıklarını tam olarak bilmedikleri halde nasıl önemli gelişmeler ürettiklerini gösteren mükemmel bir örnektir" dedi.[8]

Aralık 1924'te Pauli, Zeeman etkisi hakkında bir makale yazdı. Bu makalede R parametresinin iki değer alabiliyor olmasının, atom çekirdeğine değil fakat dış yörüngede bulunan elektrona ait bir özellik olduğunu yazdı. Pauli, Zeeman etkisinin, klasik anlamda tanımlanamayan ve valans elektronunun kuantum özelliğinin bu tuhaf iki-değerli olma kuralından geldiğini söyledi. Pauli'nin 1925'teki makalesi bu fikri genelleştirdi ve bütün elektronlara uyguladı. Makaledeki anahtar cümle: "Bir atomda bütün kuantum numaraları aynı olan iki veya daha fazla eşdeğer elektron hiçbir zaman bulunamaz. Eğer

7 Bkz. John L. Heilbron, "The Origins of the Exclusion Principle", *Historical Studies in the Physical Sciences* 13, 1983, s. 261.

8 Abraham Pais, *Inward Bound: Of Matter and Forces in the Physical World*, Oxford University Press, New York, 1986, s. 272.

bir atomda bu kuantum numaralarının kesin değerler aldığı bir elektron bulunuyorsa, bu durum artık işgal edilmiştir."[9]

Kuantum kimliği veya kuantum ayırt edilemezliğinin sadece fizikçileri ilgilendiren bir mesele olmaması gerektiğini öne süren kişilerden biri Alman doğumlu Amerikalı fizikçi ve felsefeci Henry Margenau olmuştur. Pauli'nin Nobel ödülünü almasından bir yıl önce 1944'te, Margenau *Bilim Felsefesi* isimli dergide bir makale yayınladı. Makale; "Felsefe literatüründe dışlama ilkesi ile ilgili bu kadar az tartışma olması ilginçtir" tespiti ile başlıyordu.[10] Margenau bunun nedenini, haberlerde çok sayıda gelişmenin olmasına bağladı. Rölativite teorisi çok az gelişmelerin olduğu bir zamanda keşfedilmişken dışlama ilkesi, kuantum teorisi ile sonuçlanacak olan teorik keşif bolluğunun yaşandığı bir dönemin ortasına denk gelmişti. Bir diğer nedeni ise rölativite felsefi teorisinin sonuçlarının daha açık olmasıydı. Bu teori zaman ve mekân anlayışımıza derin yenilikler getiriyordu. Rölativite, kendisinden önce gelen kavramları yıkmışken, dışlama ilkesi ise yapıcı bir etkiye sahipti. Periyodik tablo, kimyasal özellikler temelinde gruplanmış ve organize edilmişti ve dışlama ilkesi bu organizasyonu elektron yapılanmasına göre açıklamıştı.



Wolfgang Pauli (1900-1958) Bu resim, o zamanlar Zürih'te doktora sonrası araştırma öğrencisi olan ve sonrasında Harvard'da profesör olup 2005'te Nobel fizik ödülünü kazanan Roy Glauber tarafından çekildi. Resimde eğlenceli bir durum görülüyor. Pauli, Glauber ve diğer hocalar ve öğrenciler 1950 yazında Zürich çevresindeki dağlarda bir gezideydiler. Glauber yanında büyük ve ağır bir kamera taşıyordu. Son bir tanesi hariç bütün filmleri kullanmıştı ve bu son filmi kullanma konusunda çekimserdi. Glauber "Pauli gezi sırasında neden resim çekmediğim konusunda bana sürekli takılıyordu" diyordu. Nihayetinde grup, Lucerne gölünün kıyısında düz bir bölgeye indiler ve bir futbol topuyla oynamaya başladılar. Şişman ve hantal olan Pauli topu suya atmayı başardı ve bir öğrenci kıyafetlerini çıkarıp yüzerek topu çıkarmak zorunda kaldı. Bu durum Pauli'yi güldürdü ve topu sürekli suya atmak için kışkırttı. Her defasında içten kahkahalar atıyordu. Glauber "Kükreyen gülümsemesinin son film karemi hak eden bir manzara olduğuna karar verdim" dedi. Oyunculara topu Pauli'nin yanına bir kez daha atmalarını işaret ettim. Glauber elini dikkatlice kameraya attı ve futbol topunun yüzüne çarpmasına bir an kala tam zamanında butona bastı (Roy Glauber'in izniyle).

9 Wolfgang Pauli, *Zeitschrift für Physik* 31, 1925, s. 765-85.

10 Henry Margenau, "The Exclusion Principle and Its Philosophical Importance", *Philosophy of Science* 11, 1944, s. 187-208.

Ancak fizikçi olmayanların dışlama ilkesine olan ilgisizliği biraz da karmaşıklığından kaynaklanıyordu; onu anlamak için yeni keşfedilmiş fizik bilgilerini kavramak gerekiyordu. Margenau meslektaşlarının yararına bunu denemeye karar verdi. Maddenin "temel parçacıklar" adı verilen yapı taşlarından oluştuğunu biliyorsunuz değil mi? Hatırlayacak olursak bu yapı taşları elektronları, protonları ve nötronları kapsar. Bunlar maddenin yapısı içinde kararlı parçacıklardır. Bunların yanı sıra pozitronlar, mu-mezonları ve nötrinolar dünyamızda çok daha az kendini gösteren parçacıklardır. Aşina olduğumuz ve olmadığımız bütün bu parçacıklar ortak bir dizi özelliğe sahiptir. Hepsi dışlama ilkesine riayet eder. Yani bu parçacıklardan ikisini aynı durumu işgal ediyor şekilde bulamazsınız.

"Ne olmuş yani?" diye okurların soracağını hayal etti. Nasıl işgal etsinler ki? Newton dünyasında da geçerli bu. Ne aynı yörüngede iki gezegen ne de bilardo masasında iki bilardo topu aynı mekânı işgal edebilir. Ne var ki bunda?

Margenau bunun tutarsız bir terminoloji olduğunu itiraf eder. "Atomlarla ilgili bilgisi Bohr atom modelinden öteye geçmeyenlerin yararı için belirtmek gerekir ki kuantum dünyasında yörünge diye bir şey yoktur" diye yazdı. Bunun yerine "durumlar" vardır. Durumlar, tuhaf şeylerdir. Atoma bağlı halde bulunan bir elektron için bu durumlar "kuantum numarası" adı verilen bir dizi sayı ile tanımlanır. Dört adet kuantum numarası bir durumu tanımlar. Hepsi bu, daha fazlası değil. Bu dört numaraya ek olarak elektronların örneğin ayrıca pembe veya yeşil veya mavi olduğunu söyleyemeyiz. Pauli bunu doğanın bir gerçeği olarak görmüştü. Ancak kuantum mekaniğin tamamlanmış hale gelmesiyle bu gerçek, bir sonuç çıkarma şeklinde anlaşılabilmiştir; dört etiket tamamlanmış bir numaralama sunar. Bunun yanı sıra "durum" kavramı yörünge kavramıyla uzaktan dahi alakalı değildir. Kuantum teorisinde durum, bir parçacığın değişik mekân noktalarında bulunma olasılığı dağılımını tanımlar. Dışlama ilkesinin "iki elektron aynı durumu işgal edemez" demesi, "iki elektronun birbirinin aynısı olan kuantum numaralarına sahip olamayacağı anlamına gelir" diyerek devam eder Margenau.

Yörünge yerine durum kavramının kullanılması olasılıkları kısıtlar. Margenau'un ifade ettiğinden daha farklı şekilde söylemek adına şu şekilde bir örnek düşünebiliriz: Rulet çarkında topların içine düşebileceği belli sayıda oluklar vardır. Dönmekte olan çarkın hileli olmadığını kabul edersek topların herhangi birine düşmesi muhtemeldir. Şimdi ise topların birbirinden ayırt edilemez olduğunu düşünelim. Toplardan birini oluktaki bir diğeri ile değiştirirsek sonuç değişmeyecektir. Yine aynı "durum" söz konusu olacaktır. Pauli'nin ilkesi, zıt spin özelliğine sahip iki toptan sadece biri oluklardan birini işgal edebilir der. Bu kural elde edilebilecek sonuçları ciddi anlamda kısıtlar. Örneğin bir olukta beş tane topun bulunması artık mümkün değildir.

Kafa karıştırıcı olan şudur diyor Margenau: "Fizikçiler, klasik teorilerdeki göz önüne getirilebilir özelliklerin yok olması gerçeğiyle halen boğuşuyor. Hayal edilebilir basit yörüngelerin yok olmasının duygusal isyanını yaşıyorlar. Bu da felsefecileri zora sokuyor. İki farklı dünya arasında gidip gelen fizikçilerin demek istediğini felsefeciler nasıl anlayabilir bu durumda?"

Ancak Pauli'nin ilkesinin ana fikri, elektronların ya farklı spin özelliğine sahip olması gerektiği ya da farklı durumları işgal etmek zorunda olduğu gerçeğidir. Margenau "Pauli, spin terimini kullanmamıştır" diye ekler. Bu özellik birkaç yıl sonra keşfedilmiş-

tir ve Pauli tarafından kullanılmış olan benzer kavramın yerine konmuştur. Margenau bazı uyarılar ile devam eder. Öncelikle Pauli'nin ilkesi, bugün fermiyon adını verdiğimiz belli tür parçacıklara uygulanır. Bozonlar (fotonların dahil olduğu tür) aynı durumun içinde toplanmakta sorun yaşamaz. Margenau, okurların halen bunun öneminin ne olduğunu sorgulayacağını düşünmüştür. Dışlama ilkesi kulağa bir çeşit yer işgal etme gereksinimi gibi, atom altı dünyanın bir yapı kuralı gibi gelir. Ancak etkisi bunun çok ötesindedir! Öncelikle atomların elektron tabakası yapılanması açıklık kazanır. Bu açıklık, atomların özelliklerinin incelenmesinden değil, kuantum mekaniğinin temel ilkeleri vasıtasıyla gelir. Bohr'un spektroskopi gözlemleri de izah edilebilir hale gelir. Bunun yanı sıra katı maddelerin manyetik özellikleri de aynı şekilde açıklanabilir olur.

Margenau, yukarıda bahsini ettiğimiz nitel açıklamalara matematiksel nicel bir açıklama ile devam eder. Newton fiziğinde bir nesnenin hız ve konum bilgilerini altı değişken ile tanımlayabilirsiniz. Söz konusu nesnenin durumu bu sayede 6 sayı ile belirtilir ve bunların her biri diferansiyel denklemler ile tanımlanabilen sürekli fonksiyonlardır. Ancak kuantum dünyasında bu böyle değildir. Heisenberg'in belirsizlik ilkesi gereği bir parçacığın durumu bir faz uzay yığını içinde tanımlanabilir. Ve belirsizlik ilkesi, ayırt edilemez olan bir dizi parçacıktan sadece birisinin belli bir zaman anında bu faz uzay yığınının içinde bulunabileceğini söyler.

Margenau son olarak "neden?" diye sorar. Bunun cevabı yoktur. Bu bir kuraldır. Fakat çok derinlere işlenmiş bir kural. Margenau, "Bu, basitçe doğanın bir başka yasası veya kuantum fiziğinin bir başka teoremi değildir. Atomlar ölçeğinde işleyen mantığın düzenleyici bir unsurudur" der. Parçacıkların davranışlarının alışageldiğimiz Newtonsal yörüngeler şeklinde hayal edilmeye çalışılması, nedenselliğin ihlal edildiği bir durumun görülmesi sonucunu doğurur. Parçacıkların davranışları ile ilgili tasvirlerimizin nedenselliği ihlal ediyor gibi görünmesi, doğanın böyle olmasından değil fakat tasvirlerimizin hatalı olmasındandır. Meydana gelen olaylar halen deterministik olaylardır. Durumlar kesinlikle öngörülebilirdir. Fakat bu durumların kendileri doğrudan gözlenebilir değildir. Bunun yerine mümkün olan olayların toplam olasılık dağılımı tarif edilir. Margenau, "Gözlenebilir olaylar artık deterministik bir ağın içinde örülü değildir" diye yazar. "Tıpkı mantarlar gibi, her yerde karşımızda bitebilirler".

Bose'un foton sayımı kuralı, Planck'ın önceki çalışmalarında elde etmeyi başardığı kara cisim ışıması formülünün aynısını vermektedir. Işığın parçacık tanımının ışığın dalga tanımı ile uyum içinde olmasını sağlayan bir yöntem keşfedilmişti. Einstein bunun ne anlama geldiğini görmüştü. Eğer belli bir dalga boyu ve frekansta olan fotonların sayısı çok büyük olursa, yani örneğin bir kutunun içindeki fotonlardan belli bir dalga boyuna sahip olanlarının sayısı çok büyük olursa, bu durumda söz konusu sistemi klasik bir Maxwell elektromanyetik dalgası olarak tanımlamak mümkün olmalıdır. Bütün fotonlar, dalga olarak tanımlanabilen bir şey halinde yoğunlaşmıştır denebilir. Söz konusu dalganın elektrik ve manyetik alanlarının varlığı bu dalga ile etkileşim halinde olan elektronların davranışları sayesinde tespit edilebilir.

Einstein'ın bu ilave çalışması, Bose'un atomlar misali daha büyük kütleli parçacıkların sayımı kuralına uygulanabiliyordu. Einstein, atomlar arasında etkiyen kuvvetlerin ihlal edilmesi halinde, bir kutunun içine yer alan ve bu atomlardan oluşan büyük bir kü-

menin, bütün atomlar sanki aynı durumda bulunuyormuş gibi en düşük enerjili bir yapılanma halinde bulunacağını gösterdi. Buradan yola çıkılarak elde edilen doğrudan bir sonuç, sıfır sıcaklık noktasına erişildiğinde bütün parçacıkların en düşük enerji seviyesi durumunda olacağıdır. Bu sonuç, Alman fizikçi ve kimyacı Walther Nernst'in henüz kanıtlanmamış teoremine bir örnek teşkil eder; sıfır sıcaklık noktasında sıfır entropi vardır. Yani, parçacıkların bulunabileceği durumlar ile ilgili belirsizlik söz konusu değildir. Bu bağıntı Einstein'a uzun zamandır cazip gelmiş ve aynı zamanda onu düşündürmüştü. Ancak diğer yandan, Bose'un kuantum fikirlerinin Nernst'in teoremini hesaba katıyor olmasını da yeterli bulmuştu.

Einstein daha ileri gitti ve sonlu bir sıcaklık değeri için neler olacağını düşündü. Belli bir yoğunluk oluşturacak sayıda parçacık için kritik bir sıcaklık değerinin olması gerektiği sonucuna vardı. Bu değerin altına inildikçe söz konusu gaz kümesi, giderken artan sayıda parçacığın en düşük enerji seviyesinde bulunacağı bir yapı oluşturacak şekilde yoğuşmaya başlayacaktır. Bu yapı günümüzde Einstein yoğuşması veya Bose-Einstein yoğuşması adı ile anılmaktadır. Bunun ilk örneği (örnek olduğunun anlaşılması için uzun zaman almıştır) helyum süper akışkanıdır. Söz konusu madde, gözle görülür miktarda helyum için pek çok ilginç özellik gösterir. Örneğin bu süper akışkan bir kaba boşaltıldığında, kabın kenar yüzeyinden yukarı doğru sürünerek ilerlemeye başlar ve tepe noktasına eriştiğinde bu defa kabın dışından aşağı doğru kayar. Sıradan sıvılar böyle bir davranış göstermez. Gerçek hayatta ve hatta YouTube'da izlemesi son derece etkileyici olan bu olay kuantum sifonu veya ani kuantum sifon etkisi olarak bilinir. Bu etki, kütleyi meydana getiren tüm helyumun tek bir kuantum mekaniksel dalga fonksiyonu ile tanımlanmasının sonucudur. Bu, "makroskobik" bir dalga fonksiyonudur.

Süper iletkenlik bunun bir diğer örneğidir. Ancak olay biraz daha kafa karıştırıcıdır çünkü metallerin üzerinde hareket eden elektronlar, Pauli'nin dışlama ilkesine riayet eden fermiyonlardır. Ancak elektronlar çiftler halinde bir araya geldiklerinde, Einstein'ın keşfettiğine benzer bir yoğuşma meydana getirip süper akımlar adı verilen ve hiçbir voltaj uygulanmasa dahi sonsuza kadar devam edebilen akımlar meydana getirebilirler. Yine Einstein yoğuşmasından gelen ve makroskobik etkileri olan bir olaydan söz ediyoruz.

1926'da İngiliz teorik fizikçi Paul Dirac, Pauli'nin çalışmalarına dikkat çekti. İtalyan fizikçi Enrico Fermi'nin ilave çalışmaları ile beraber Bose ve Einstein'ın elde ettiği sonuçların yeni kuantum mekaniğinin dilini değiştirdiğini söyledi. Dirac'ın makalesi temel parçacıkları iki sınıfa ayırdı. İlki, Dirac'ın fermiyon ismini verdiği ve Pauli'nin dışlama ilkesi ile yönetilen parçacıklardı. İkincisi, kümelenerek aynı durumu işgal edebilen ve bozon ismi verilen parçacıklardı. Kabaca söyleyecek olursak, iki nesneyi yer değiştirirseniz ve dalga fonksiyonlarının faz faktörü (ilerde daha detaylı ele alacağız) aynı kalırsa (yani simetrikse) söz konusu nesneler aynı mekânı işgal edebilir (yoğuşma olması mümkün olur) ve bu nesneler bozondur. Eğer faz faktörü negatife ise (yani asimetrik ise) nesneler aynı mekânı işgal edemez ve bu nedenle fermiyondurlar. Dirac, "ayırt edilemez olan bunun dışında başka türde bir parçacık doğada gözlenmemiştir" demiştir.[11] Bozonlar,

11 P.A.M. Dirac, *The Principles of Quantum Mechanics*, 4. baskı, Clarendon Press, Oxford, 1981. Aslında bu sonucu kuantum mekaniğinin temel prensiplerinden ve üç boyutlu uzayın

kuvvet taşıyıcı parçacıklar olarak görev yapar. Örneğin fotonlar, elektromanyetik kuvveti taşıyan parçacıklardır. Fermiyonlar içinse Pauli'nin dışlama ilkesi ve belirsizlik ilkesi atomların enerji seviyelerini regüle eder ve böylece elementlerin kimyasal özellikleri ve maddenin yapısı belirlenmiş olur. Günlük dünyamızın bakış açısıyla söyleyecek olursak dışlama ilkesine riayet eden parçacıklardan daha tuhaf olan şeyler bu ilkeye riayet etmeyen parçacıklardır. Ancak her ikisi de, prensip noktasında, kuantum dünyasında ayırt edilemez olma özelliğine sahiptirler. Bu durumun klasik dünyada karşılığı yoktur.

Helyum atomlarında olduğu gibi kütleli parçacıklar için Einstein'ın öne sürdüğü yoğuşma olayı yaklaşık 15 yıl sonra laboratuvar deneylerinde doğrulandı. Einstein, aralarında etkiyen kuvvetlerin olmadığı parçacıkları göz önünde buldurduğundan dolayı ol-

özelliklerinden elde etmek mümkündür. Bunu yapabilmek için bir sonraki bölümde değineceğimiz bir ön bilgiye ihtiyacımız var. Kuantum mekaniğinde bir parçacığın veya parçacıklardan oluşan bir sistemin tanımı dalga fonksiyonu formunu alır. Bu fonksiyon bütün parçacıkların konum koordinatlarına bağlıdır. Bu dalga fonksiyonunun kompleks bir fonksiyon olmasından dolayı onu doğrudan gözleyemeyiz. Yani söz konusu fonksiyon, bir reel ve bir de sanal bileşen içerir. Sanal kelimesinin çağrıştırdığı üzere bu şekilde bir büyüklük herhangi gerçek bir ölçüm cihazı ile tespit edilemez. Ancak buna rağmen, dalga fonksiyonunun mutlak karesi, parçacıkların belli bir noktada tespit edilebilme ihtimali olarak yorumlanabilir.

O halde birbirinden ayırt edilemez iki parçacığın dalga fonksiyonunu $\Psi(x,y)$ ele alalım. Burada x ve y değerleri, birinci ve ikinci parçacığın üç boyutlu uzay içindeki koordinatlarıdır. Eğer x ve y değişkenlerini yer değiştirirsek, Ψ fonksiyonunun mutlak karesi değişemez çünkü bu durum aynı koşula karşılık gelir ve dolayısıyla aynı olasılık yoğunluğuna sahip olmalıdır. Bu nedenle söz konusu kompleks fonksiyonunun sanal ve reel bileşenleri a açısıyla birbirine döndürülmüş olur ve bu işlem Ψ fonksiyonunun mutlak karesini değiştirmeden korur. Sanal ve reel bileşenler arasındaki bu döndürme açısına faz açısı denir veya kısaca faz olarak anılır. Uzay içinde x ve y'yi birbirine bağlayan çizgiyi ikiye ayıran ve ona dik olarak uzanan bir eksen etrafında 180 derecelik (veya π radyanlık) bir döndürme işlemi sayesinde x ve y değerlerinin yer değiştirmesini sağlayabiliriz. Eğer aynı miktarda geriye doğru bir döndürme işlemi yaparsak başladığımız koşula tekrar geri dönmüş oluruz. Yani bu döndürme işlemi dalga fonksiyonuna $-a$ değerinde bir faz vermiş olmalıdır.

Şu ana kadar a değeri için bir kısıtlama getirmedik. Ancak şimdi, bu iki parçacığın bulunduğu düzlemi gözlediğinizi hayal edin. Parçacıkların arasında durduğunuzu ve onları saat yönünün tersine 180 derecelik bir açıyla döndürdüğünüzü düşünün. Ardından bir başkası geliyor ve bu defa sizi, ilk konumunuza kıyasla baş aşağı olacak şekilde döndürüyor. Gözlediğiniz iki parçacığın konumu nazarınızda aynıdır ve her zaman olduğu gibidir. Dolayısıyla bu döndürme işlemi dalga fonksiyonuna ayrıca bir faz dönüşü vermiş olmalıdır. Buna da "b" diyelim. Bu defa parçacıkları, yeni bakış noktanızdan kendinize göre yine saat yönünün tersine döndürürseniz, bu işlem ilk bakış noktanıza göre saat yönünde bir döndürmeye eşittir ve dolayısıyla $-a$ değerinde bir faza karşılık gelir. Bu defa arkadaşınızın sizi tekrar yukarı döndürdüğünü düşünün. Bu işlem $-b$ fazını verir. Birbirini yok eden $-b$ ve $+b$ olmak üzere iki faz dönüşü elde etmiş oluruz. Bütün bunları yaptıktan sonra geriye kalan şey parçacıklar üzerinde gerçekleştirdiğiniz saat yönünün tersine iki adet 180 derecelik döndürme işlemidir. Bu ise 2a faza karşılık gelir. Ancak parçacıkları ikinci defa döndürdüğünüzde baş aşağı duruyor olduğunuzu ve bundan dolayı ilk konumunuza kıyasla parçacıkları saat yönünde döndürmüş olduğunuzu hatırlayacak olursak, nihayetinde net fazın $a-a=0$ derece olduğunu (veya 360 derecelik bir faz dönüşü sıfır dönüş ile eşdeğer olduğundan net fazın 360 derece olduğunu) buluruz.

sa gerek bu laboratuvar çalışmalarının kendi yoğuşma teorisi için bir doğrulama niteliğinde olduğunu görmekte çekimser kaldı. Gerçekte helyum atomları, Pauli ilkesi gereği birbirini iter. Çünkü bu ilke, biri yukarı spinli ve diğeri aşağı spinli iki elektrondan daha fazlasının aynı yerde bulunmasını kabul etmez. Yine de yoğuşmanın gözlenmeye başladığı sıcaklık değeri Einstein'ın hesaplarında olan değere oldukça yakındır ve günümüzde bu olay Einstein'ın keşfettiği bir olay olarak kabul edilmektedir.

Tıpkı ışıkta olduğu gibi, helyum yoğuşması da büyük mesafelerde dalga eş fazlalığı durumunu göstermektedir. Ancak burada bir fark vardır. Bu dalganın mutlak fazının gözlenmesi mümkün değildir. Diğer bir deyişle, Einstein yoğuşması için tam anlamıyla bir klasik dalga limiti yoktur.

Kuantum mekaniği bakış açısıyla parçacık kimliği meselesine bu kadar az ilgi gösterilmiş olmasının nedeni olarak o dönemlerde fizik dünyasında pek çok gelişmenin yaşanıyor olduğuna dair Margenau'nun iddiası bize pek ikna edici gelmiyor. Kendisinin ve Peter Pesic'in açıklamalarıyla beraber 60 yıl sonra günümüzde dahi kuantum kimliği kavramı, kuantum mekaniğinin kendi uzmanlık alanının dışında çok fazla yankı bulmamaktadır. Bunun izahı basitçe bu kavramın tatsız ve hoş karşılanmayan bir kavram olmasında yatıyor olabilir. Kuantum mekaniği sahasında olmayan insanlar, aynı türde iki nesne arasında ayırt edilebilir herhangi bir farkın olmadığına dair bu radikal düşünceden hoşlanmamış olabilir.

Bütün bunları bir araya getirdiğimizde eksen etrafında aynı yönde iki defa dönme işleminin bize aynı Ψ fonksiyonunu vereceği sonucuna varabiliriz. Bu ise x ve y'nin yer değiştirme işleminin, Ψ fonksiyonunu 1'in karekökü, yani -1 veya +1 ile çarpmak anlamına geleceğini gösterir. Eksi işaretinin olduğu durum x=y durumu için sonuç verir. Bu durumda Pauli prensibi gereği Ψ ortadan kalkar. Artı işaretinin olduğu durum ise ayırt edilemez iki parçacığın koordinatlarının yer değiştirme işlemi neticesinde değişmeden kalan bir dalga fonksiyonu verir. Bu ise Bose-Einstein durumuna karşılık gelir. Sadece bu iki olasılığın doğada bulunabilecek olan olasılıklar olduğuna dair Dirac'ın ifadesi, üç boyutlu uzayın dönel simetrisinin doğal bir sonucudur.

Eğer sadece iki uzay boyutuna sahip bir dünyada yaşıyor olsaydık bu durum böyle olmazdı. Bu durumda a açısı istediğimiz herhangi bir değerde olabilirdi (J.M. Leinaas ve J. Myrheim, "On the Theory of Identical Particles", *Nuovo Cimento* B 37, 1997, s. 1-23). Bu olasılığın kendileri için mümkün olduğu parçacıklara anyon adı verilir... (Frank Wilczek, "Quantum Mechanics of Fractional-Spin Particles", *Physical Review Letters* 49, 1982, s. 957-59). Hareketin üç boyut yerine sadece iki boyutta gerçekleştiği laboratuvar ortamında oluşturulmuş sistemler için bu tür kesirli istatistiklere riayet eden parçacıklara kanıt teşkil eden örnekler rapor edilmiştir.

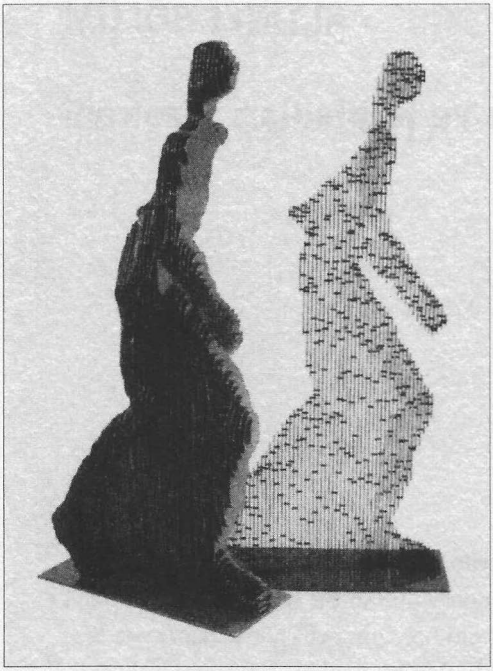
ALTINCI BÖLÜM

Köpek Balıkları ve Kaplanlar: Şizofreni

Kuantum Adam, Julian Voss-Andreae tarafından yapılmış ve Washington'da bulunan Lake Moses şehrinde bulunan bir heykeldir. Dördüncü Bölüm'de bahsini ettiğimiz ve Anthony Gomley'nin çelik yüne benzeyen Kuantum Bulutu heykelinden oldukça farklı olan bu heykel, 2,5 metre yüksekliğinde birbirine paralel çelik tabakalardan inşa edilmiştir. Etrafında döndükçe heykelin şeklinin değiştiği göze çarpar. Belli bir bakış açısından bakıldığında bir insan figürünün dış hatlarına benzer. Başka bir bakış açısından ise insan figürü tamamen gözden kaybolur. Voss-Andreae heykelini, dalga-parçacık düalitesinin bir metaforu olarak tanımlar. Dalga-parçacık düalitesi, bir kuantum olayının ona nasıl baktığımıza göre dalga veya parçacık formunda gözlenmesi meselesidir.[1]

Harvard İngiliz dili profesörü Daniel Allbright'ın *Kuantum Şiir Sanatı* kitabı, modernist şiir sanatını inceler. Burada modernist terimi, İkinci Dünya Savaşı'ndan önceki yarım yüzyılda yazmış olan şairlere atıfta bulunur. Bu şairler kendilerinden önce gelenler ile kesin bir ayrışma gerçekleştirmek istemiş-

1 Voss-Andreae bu gerçeği biliyordu. Berlin ve Edinburgh'da lisans öğrencisi olarak fizik eğitimi aldı ve Viyana'da fizikçi Anton Zeilinger ile beraber Karbon-60 moleküllerinin kuantum girişimini içeren çift-yarık deneyleri konusunda lisans sonrası araştırma yaptı. Voss-Andreae'ya göre heykel, tamamlayıcılık ilkesinin matematiği ile doğrudan ilişkili olmasa da kuantum fiziğinin matematiği ile ilişkilidir. Eğer bir enerji yığınına (örneğin bir miktar madde veya hatta bir insan bedeni) Planck'ın $E=h\nu$ denklemine göre bir frekans tayin ederseniz ve sonrasında onu hareket ettirirseniz ya da onu özel rölativitenin kurallarına göre hareket eden bir referans çerçevesine dönüştürürseniz, bu durumda ön dalga düzlemi hareketin yönüne dik olur. Voss-Andreae'ya levha fikrini veren budur.



Julian Voss-Andreae, Kuantum Adam.

tir. Bu sairlerin şiirleri, fizikten bahsetmese de, dalga ve parçacık modelleri ile eşleştirilmiştir. Şiir sanatının temel parçacıklarını incelemiş olan Ezra Pound, şairlerin Demokritus'u, Rutherford'u ve Bohr'u idi. D.H. Lawrence ise dalgaların hissedilmesinden yana idi; karmaşık elektromanyetik çekme ve itme etkileri ve sinir sistemi ağı vasıtasıyla erkekleri, kadınları, yılanları, inekleri, Ayı ve Güneşi hepsini birbirine bağlayan dalgalar. Allbright, bu iki şairin ve dönemin diğer modernist şairlerinin, şiir sanatının dalga veya parçacık modeli ile tam anlamıyla örtüşmediğini de kabul ediyordu. Allbright, modernist şairlerin birbiri ile çelişen bu her iki modeli de devam ettirmenin yollarını aradıklarını söyler. Modernist şairler, şiiri aynı anda hem dalga hem de parçacık modeline göre nasıl anlamlandırmaları gerektiğini kendi kendilerine öğretmeye çalışmıştır.[2]

Voss-Andreae'nin heykeli ve Allbright'ın şiirleri, aynı anda iki şey olabilmelerinden dolayı yaratıcı eserlerdir. Her ikisi de bu verimli şizofreniyi, kuantum fiziğinin bir somutlaştırması olarak görür. Fakat bazen bu kuantum şizofrenisini şakaya alırız. Bir defasında Universe Corp şirketinin Ar-Ge bölümünün ofislerinin resmedildiği bir karikatür görmüştük. Karikatürde, elinde kahve fincanı tutan beyaz gömlekli ve kravatlı genç bir mühendisin Tanrı'ya en son geliştirdiği yeni fikri ile yaklaştığı ve şöyle dediğini görüyoruz: "Bunu aynı anda hem bir parçacık ve hem bir dalga yapabilirsen çok güzel olur!" Tanrı, her zamanki ilgili sabrı ile dinler ancak karikatürde kendisinin o an ne düşündüğü gösteren düşünce balonunun içinde "Tanrım, ne aptal!" diye yazar.

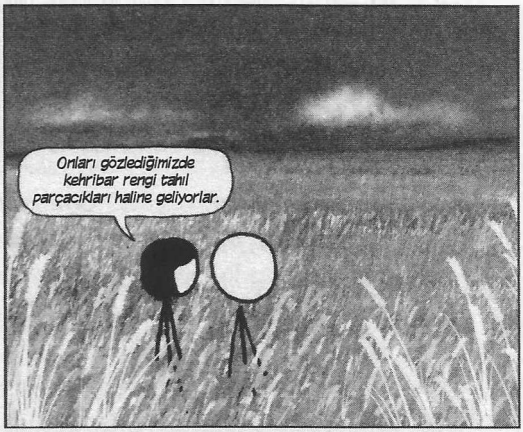
Newton dünyası hiçbir şekilde şizofrenik değildi. İçindeki her şey iki kutudan birine aitti. Kutulardan birinde parçacıklar vardı. Parçacıklar, belli konumlarda bulunan kütleleri ile kuvvetler tarafından itilip çekilmekte ve her

2 Daniel Albright, *Quantum Poetics: Yeats, Pound, Eliot, and the Science of Modernism*, Cambridge University Press, 1997, s. 24-25.

zaman kesin bir konuma ve momentuma sahiptiler. Diğer kutuda ise sürekli fonksiyonlar kullanan Maxwell teorileri ile tanımlanan dalgalar vardı. Diferansiyel denklemler ile izah edilen ve zaman ve mekân içinde düzgünce gelişen olayları tasvir ediyorlardı. Her ikisi de gözlenebilir ve öngörülebilir olayları ihtiva ediyordu. Yani başlangıç koşulu ile ilgili bilgiyi girersiniz, programı çalıştırırsınız ve gelecekte olacak olanı öngören bir sonuç elde edersiniz.

Kuanta hangi kutuya aittir? Belli değil. Birinci kuantum devriminin ilerleyen dönemlerinde, 1920'lerin ortalarına doğru fizikçiler bu kutulardan birini veya diğerini destekleme eğilimindeydiler. Parçacık ve dalga teorilerini diğerini de kapsayacak şekilde genişletme çabasındaydılar. Kuantum fenomenlerinin nasıl bir doğaya sahip olduğunu çözmeye çalışıyorlardı ancak gözledikleri olaylar bildiklerinden çok farklıydı. Ardından 1925-27 arasında yaşanan ikinci kuantum devriminde fizikçiler dalgaları ve parçacıkları bir araya nasıl getirebileceklerini çözdüler. Elde ettikleri ve şizofreniden bile daha tuhaf olan sonuç, kuantum olaylarının nasıl baktığınıza bağlı olarak her iki değişik doğayı da sergilediği şeklindeydi.

Yazarlar, sanatçılar ve değişik alanlardan akademisyenler bu sonucun, varlıkların gerçekliğini gerekli fakat eksik bir bakış açısıyla sunduğunu kabul etmiş ve bu konuda birbiri ile çelişen perspektiflerin birlikte var olmasının kabul edilebilir olduğuna bir işaret olarak görmüştür. Dindar yazarlar bu durumu, Hıristiyanlığa inananların düşüncesinin bilimsel bir benzeri olarak tarif etmiştir. Örneğin fizikçi John Polkinghorne, "kuantum fiziğini tamamen anladığını iddia edenler onu kavramaya dahi henüz başlamış değildir" diyen Bohr'un, İngiliz Kilisesi'nden piskopos William Temple'ın, "her kim Mesih'teki Tanrısallığın insan kimliği ile olan bağını anladığını iddia etmişe, o kişi yeniden dirilişin ne manaya geldiğini hiçbir şekilde anlamamış olduğunu açık etmiştir" şeklindeki söylemini farkında olmadan yankılamış olduğunu yazmıştır.[3]



www.xkcd.com

3 John Polkinghorne, *Quantum Physics and Theology: An Unexpected Kinship*, Yale University Press, New Haven, 2007, s. 91.

KİBAR FAKAT KARARLI ÇILGINLAR

İkinci kuantum devriminin önemini anlamak için birincisinin kavramları nasıl zedelediğini görmemiz gereklidir. 1920'lerin başında, rölativite teorisi ve kuantum mekaniği bilimin iki büyük zaferi olarak eşit genişlikte anılmaktaydı. Ancak pek çok bilim insanı bu devrimsel buluşları kavramakta güçlük çekiyordu. 1921'de "Kuanta" başlıklı bir makalede, profesyonel fizikçilerin üyesi olduğu Amerikan Fizik Topluluğu'nun kurucusu Clark Üniversitesi'nden ünlü Amerikalı fizikçi Arthur G. Webster, bir önceki yıl Planck'ın Nobel ödülünü kazanması ile ilgili bir yazı yazdı (Planck bu ödülü aslında 1918'de kazanmıştı ancak kutlamalar Birinci Dünya Savaşı'ndan dolayı ertelenmişti). Kariyerini klasik fiziğe adamış olan Webster, kuantum tarihini elinden geldiğince özetlemeye çalıştı ve ardından ekledi:

> Kuanta teorisini anlamak matematiksel fiziğin en zor alanları hakkında bilgi sahibi olmayı gerektirir. Şahsen yarısını dahi anlamış değilim. Ya siz? Ancak bu teori Nobel ödülüne değer ve rölativite teorisi gibi büyük bir düşüncedir.[4]

Çalıştığı departmanın kapatılması ve fizik bilimine katkıda yaşadığı umutsuzluk gibi kişisel problemlerinden dolayı Webster, bundan kısa bir süre sonra intihar etti.

Webster gibi ana akım fizikçiler kuantum teorisini anlamakta güçlük yaşıyorsa, halkın anlaması daha da güçtü. Fizikçi olmayan birkaç yazar, kuantumun ne anlama geldiği hakkında budalaca yorumlar yapmıştı. G.E. Sutcliffe isimli Hintli bir astronom ve spiritüalist, *Times of India* dergisine rölativite ve kuantum mekaniğinin Batı biliminin çöküşünü ve Doğu doktrinlerinin yükselişini haber verdiğini söyledi. Anlaşılmaz bir ifade ile "Batı'nın sfenks bilmecesine verdiği cevap Newton yasalarını imha ederken Doğu'nun verdiği cevap ise onları muhafaza eder" diye yazdı.[5] Bir yıl sonra *Los Angeles Times*, "Eğer kuantum denen bu yeni şey yeni ve güçlü bir enerji formu ise, demokratik partiyi bir arada tutmak için ihtiyaç duyulan gücü sunabilir nihayet" diye bir espri yazmıştı.[6] (*Times*, bunu günümüzde yazmış olsaydı kesinlikle cumhuriyetçilerin adını anardı.)

Newton mekaniğine dayalı benzetmelere güvenle sırtını dayamış olan diğer alanlardaki akademisyenler düşüncelerini yeniden gözden geçirmek zo-

4 Arthur G. Webster, *Weekly Review* 4, 1921, s. 537-38.
5 G. E. Sutcliffe, "The Eastern School", letter to the editor, *The Times of India*, 12 Ekim 1921, s. 11.
6 "The Quanta Theory", *Los Angeles Times*, 20 Ekim 1922, s. 114.

runda kaldı. Felsefeci ve psikolog F.C.S. Schiller, belirli minimum geçiş enerjileri ile hareket etmek zorunda olan atomların belli psikolojik reaksiyonlar gibi davrandığını düşündü. Bu şekilde psikolojinin fizik bilimine dahi ışık tutmasının mümkün olabileceğini ima etti.[7] Birkaç yıl sonra Harvard tarihçisi William Munro meslektaşlarına, Walter Bagehot'un "nihai ve sabit düzgünlükler" postulatı ile Newton mekaniğindeki demokrasiyi alaşağı etme çabasının revize edilmesi gerektiğini söyledi.[8] Ancak bütün bunlar izole ve rastgele spekülasyonlar ve akademik anlamda karanlık kuyuya taş atma çabalarıydı. Akademisyenlerin ve bütün diğer herkesin genel tepkisi kuantum mekaniğinin rölativite teorisi gibi sadece bir avuç dolusu bilim adamının anlayabildiği bir konu olduğu yönündeydi.

1922'de Charles Darwin (ünlü doğa bilimci Darwin'in torunu), ünlü konukları ağırlayan ve yaptıkları organizasyonlarla çokça konuşulan Los Angeles'taki kadınlar grubu Ebell Kulüp'te kuantum teorisi hakkında bir konuşma yaptı. İngiltere'deki Cambridge Üniversitesi'nde görevli olan Darwin, Pasadena'da bulunan Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü'nde bir yıl geçirmek için gelmişti. Konuşmasından bir gün sonra *Los Angeles Times*'ta yayınlanan bir yazı, kulak misafiri olunmuş bir konuşmadan bir cümle ile başlıyordu:

> "Söylediklerinin tek kelimesini dahi anlamadım."
> "Boşver, yarın *Times*'ta konuştuklarının hepsini okursun."

Muhabir Myra Nye, okurlarına bu konuda yardımcı olamadığını itiraf etmişti. Konuşmayı dinleyen konukların hiçbiri teoriyi anlayamamıştı. "Uzun zaman önce Charles Darwin, evrim teorisini ilk tanıttığında, torununun dünkü konuşmasında yarattığı şaşkınlıktan daha büyüğünü yaratmamıştı herhalde. Fakat Nye, kuantum teorisinin gerçekten çok tuhaf ol-

7 F.C.S. Schiller, "Psychology and Logic", *Psychology and the Sciences* içinde, William Brown (der.), A & C Black, Londra, 1924.

8 1927'de Harvard profesörü William Munro, Washington DC'de Amerikan Politik Bilimler Topluluğu'ndaki başkanlık konuşmasını "Fizik ve Politika – Eski Bir Analojiye Yeniden Bakış" konusuna ayırdı. Munro, demokrasinin Newton mekaniğine dayandırılması gerektiğine dair Bagehot'un düşüncesi alaşağı edilmiştir dedi. Politik bilimler, 18. yüzyıldan kalma soyut bir kişinin tanrısallaştırılması çabasını terk etmelidir. Politikanın atom teorisi gibi görülen bu düşünce bütün vatandaşların bedenlerinin eşit ağırlıkta, eşit hacim ve eşit değerde olduğu, kendilerine mutlak ve kaldırılamaz haklar bahşedildiği, eşit görev ve sorumluluklarla yüklü oldukları ve bölünemez egemenlik ile giydirilmiş olukları fikrine dayalıdır. Hükümet ise bir dizi nihaiyi ve sabit tekdüzelikleri içerir. Munro, kuantum teorisinin politikaya uygulanmasının, özgür bir devlette yaşayan eşit ve egemen vatandaşların atom teorisini terk edip yerine Bridgman'ın düşüncesini benimsetmenin dışında yol göstermek adına önerebileceği başka bir şeyi yoktur dedi.

duğunu fark etmişti. Nye, Darwin'in, 1895'te yaşayan önde gelen bir bilim insanının uyutulup, sonra günümüzde uyandırılıp, fizikteki yeni keşifleri öğrendiği bir senaryo hayal ettiğini söyledi. Bu senaryodaki kişi, rölativite teorisinin tuhaflığından bunalıma girecek ancak yine de rasyonel ve zeki bir kişi olmasından dolayı sonunda onu kabul edecektir. Ancak kendisine kuantum teorisi anlatılsaydı, anlatan kişinin gerçekten çıldırmış olduğunu düşünürdü.[9]

Birkaç yıl sonra *New York Times*'ın bilim muhabiri Waldemar Kaempffert, Heisenberg'in İngiliz Bilimsel İlerleme Toplumu'nun bir toplantısında yaptığı bir konuşmayı işledi. Heisenberg henüz ünlü bir isim olmamıştı. Bu onun, anlaşılması zor ancak kısa süre içinde üne kavuşmuş ilkesi hakkında yaptığı ilk konuşmasıydı. Kaempffert, Heisenberg'in bu teorisi, sağduyu ve realite diye isimlendirdiğimiz kavramlara olan inancımızı değiştirmeyi gerekli kılacak diye yazmıştı. Ancak Kaempffert, bu kavramların yerine Heisenberg'in ne gibi yenilikler önerdiğini anlamayı başaramamıştı:

> Yüksek matematik hakkında bilgisi olmayan insanlar Dr. Heisenberg'i ve onun anlattıkları hakkında yorum yapan uzmanları dinledikten sonra, İngiliz Bilimsel İlerleme Toplumu'nun, kendi hayali matematiksel dünyalarını yaratmış sessiz ve kibar bir grup çılgından oluştuğu hükmüne varırdı. Onların ve onlar gibi olanların gerçeklik hakkında en doğru anlayışa sahip olduğu ve geri kalan bizim gibilerin ise eksik ve yanlış anlaşılmış kavramlar ile uydurulmuş bir hayal dünyasında yaşadığımız fikrine varılacaktır.
>
> Kuantum teorisini ve bu teori üzerinde Dr. Heisenberg ve diğerlerinin yaptıkları değişiklikleri izah etmek rölativiteyi izah etmekten çok daha zordur. Bu, Fransızca konuşmadan Fransız dilinin nasıl bir şey olduğunu bir Eskimo'ya anlatmak gibi bir şeydir. Başka bir deyişle bu teori, görsel olarak ifade edilemez ve kelimeler ise anlamsızdır. Bu durumda, sadece matematiksel olarak ifade edilebilen bir şey ile karşı karşıya kalmış oluruz.
>
> Mekanik biliminin tamamı yeniden yazılmak durumdadır. Ancak bu yeni yeniden-yazılmış hali, bir matematikçiden başkası tarafından anlaşılamaz olur.[10]

Kuantum teorisinin anlaşılmasındaki güçlük karmaşık matematiğin ötesine geçer ve bizzat bilim insanlarının kafasını karıştıran meseleleri içerir. Anlaşılmıştı ki fizikçiler, yanlış adim ile yola çıkmışlardı. Eylem ve faz uzayı gibi kavramlara klasik bir yaklaşım ile yola çıkmışlardı. Sonra da bütün bun-

9 Myra Nye, "British Savant Club Speaker", *Los Angeles Times*, 19 Ekim 1922, s. 118.

10 W. Kaempffert, "Details Concepts of Quantum Theory; Heisenberg of Germany Gives Exposition Before British Scientists", *The New York Times*, 2 Eylül 1927, s. 6.

ları kuantum teorisine adapte edecek kurallar geliştirmek istemişlerdi. Kuantum teorisi, birinci çeyrek yüzyılında tam bir kavramsal keşmekeş halindeydi. Jammer bu vaziyeti "mantıksal bütünlük içeren bir teoriden ziyade ağlanacak halde olan bir hipotezler, ilkeler, teoremler ve hesaplamalar curcunası" şeklinde tarif etmişti.[11] Hatta pek çok bilim insanı kuantumun kendiliğinden çekip gitmesini umut etmişti.

Kuantumun ortaya koyduğu en rahatsız edici sonuç atom altı dünyanın tamamiyle şizofrenik olduğu gerçeğiydi. Kuantalar dalga gibiydi ve belirli bir yön ve konuma sahip olmaksızın zaman ve mekân içinde genişleyip incelerek küresel şekilde etrafa yayılıyorlardı. Ancak öbür yandan her biri belli bir konum ve momentuma sahip ve zaman ve mekân içinde her zaman belli bir rota takip eden parçacıklar gibi de davranıyorlardı. Parçacıklar ya da dalgalar kendi başlarına kafa karıştırıcı değildi. Ancak kuantum dünyasındaki nesnelerin her ikisi gibi davranıyor olabilmesiydi kafa karıştırıcı olan. Newton, ışığın parçacıklardan oluştuğunu söylemiş olmasına rağmen onun aynı zamanda dalga özellikleri sergilediğini de görmüştü. Ancak bu ikisinin ayrılmaz tek bir paket altında toplandığını hayal dahi etmemişti. Fakat kuantum dünyasında bu böyledir. Planck'ın 1920'deki Nobel konuşmasında da belirttiği gibi, dışarı salınmasından sonra ışık kuantumuna ne olduğu bir bilmecedir. Etrafa bir dalga gibi mi yayılır yoksa bir parçacık gibi mi uçar? Eğer birincisi gibiyse o zaman elektronları atomlardan koparmayı nasıl başarıyor? Eğer ikincisi ise o zaman Maxwell'in elektromanyetik denklemlerinde tanımlandığı gibi nasıl davranabiliyor?

Sir William Bragg, 1921'de sunduğu halka açık bir seminerde bu şizofreniyi kayda değer bir örnekle şu şekilde tarif etmişti:

> Diyelim ki 30 metre yüksekten bir odun parçasını denize bırakıyorum. Düştüğü yerden dışarıya doğru bir dalga yayılır. Burada, dalga meydana getiren bir parçacık yayılımı vardır. Dalga etrafa yayıldıkça enerjisi, giderek artan bir alana yayılır. Dalgalanmaların yüksekliği giderek azalır. Belki birkaç yüz metre ileride bir mesafede dalgalanma artık görünüşe göre yok olmuştur. Eğer su kütlesi mükemmel şekilde viskoziteden arınmış olsaydı ve dalgaların enerjisini ziyan edecek başka herhangi bir dış etki de olmasaydı belki de 1.000 kilometre uzağa kadar yayılabilirlerdi. Hayal edebileceğimiz üzere bu mesafede dalgaların yüksekliği son derece küçük olurdu. Sonra çevre uzunluğu üzerinde bir noktada dalga bir gemiyle karşılaşır. Belki bundan öncesinde yüzlercesi ile karşılaşmıştır ve hiçbir şey olmamıştır. Ama bu defa karşılaşmada beklenmedik bir şey oluyor. Gemiyi meydana

11 Jammer, *Conceptual Development*, s. 196.

> getiren odunlardan bir parça birdenbire, etrafta başka bir nesneye çarpmadan ve gemiyi temiz bir şekilde sıyırarak tam tamına 30 metre yükseğe fırlıyor. Buradaki problem, söz konusu odun parçasını havaya fırlatan enerji nereden geldi sorusudur. Ve ayrıca neden havaya fırlatma hızı, 1.000 kilometre geride suya bırakılmış olan ilk odun parçasıyla bu kadar hassas bir benzerlik içindedir?[12]

Bragg, katı kristallerde x-ışını kırılmalarını incelemişti. Bu olayda belli bir kaynaktan (suya atılan odun gibi) yayılan x-ışınları etrafa saçılmıştı. Gelen x-ışınları, hedefe konulmuş olan kristalin yapısı sayesinde kırılmaya uğrayıp etrafa saçılır (tıpkı yayılan dalgalar gibi). Ardından, emülsiyon filmi üzerinde bıraktıkları siyah bir nokta şeklindeki iz sayesinde tespit edilirler (örneğimizde odun parçası).

Einstein, ışımaların parçacık doğasını destekliyordu. Gördüğümüz üzere 1916'da ışığın, her birinin belli bir hareket yönüne ve momentuma sahip olduğu gerçek kuantalardan oluştuğuna dair düşüncesini genişletti. Bu düşünce, yutulan enerjinin salınana eşit olduğu bir süreç tanımlayarak enerjinin korunumunu sağlıyordu. Belki biraz aşırı bir ifade kullanarak küresel dalgalar formunda yayılan ışımaların var olmadığını iddia etti. Ancak teorisinin çalışabilmesi için, kuantanın yutulması ve salınmasını izah eden "olasılık katsayıları" formunda istatistikler eklemesi gerekiyordu. Bu işlemin sıkıntı verici olduğunu gördü ancak kısa zaman sonra yerini daha derin ve gelişmiş bir çözümün alacağını umut etti. Einstein'ın müttefikleri arasında 1923'te Campton etkisini keşfetmiş olan Arthur H. Campton da vardı. Bu etki, elektronlardan zıplayan fotonların belli yönlerden geldiğini göstermişti. Bu kesinlikle bir parçacık davranışıydı![13]

Darwin (Ebell Kulübü'nde konuşma yapmış olan fizikçi Darwin) ışımaların dalga doğasını destekleyenlerdendi. Kuantayı da kapsayacak yeni bir dalga teorisi oluşturmaya karşılık ödenmesi gereken bedeli keşfetmekten rahatsız olmuştu. "Çılgınca fikirlere gereksinim var" diye yazmıştı. Hatta iğneleyici bir tavırla sonunda fizikçilerin elektronlara özgür irade bahşetmek zo-

12 Sir William Bragg, *Electrons & Ether Waves: Being the 23rd Robert Boyle Lecture, on May, 1921*, Oxford, New York, 1921.

13 Campton etkisi, atomda bulunan bir elektrona çarpan bir X-ışını fotonunun saçılma açısı ile dalga boyundaki değişim arasındaki ilişkiyi içerir. X-ışınının enerjisi o kadar büyüktür ki elektron nihayetinde serbest bir elektron haline gelebilir. Momentum ve dalga boyu arasındaki ilişkiyi kullanmış olan Campton, momentumun ve enerjinin korunumu kurallarını da ekleyerek dalga boyundaki değişim için bir formül elde etti ve bu çalışması ona 1927 Nobel ödülünü kazandırdı. Ancak Campton belli bir fotonun açısının nasıl hesaplanabileceğini bilmiyordu. Çalışması sadece saçılma açısı ile dalga boyundaki değişim arasındaki ilişkiyi içeriyordu.

runda kalabileceğini söylemişti.[14] Sonunda en az-çılgın fikrin, belli olaylar için enerjinin korunumu kuralını terk etmek (bu kural bir önceki yüzyıldan o yana fiziğin temel taşlarından biri olmuştu) suretiyle dalga teorisini muhafaza etmek olduğuna karar vermişti.[15]

Pek çok bilim insanı, dalga ve parçacık teorilerinin gerekli oluşunu fakat birbirleriyle olan uyuşmazlığını günlük dile taşıyacak yollar bulma çabasına girişti. İngiliz fizikçi C.D. Ellis, parçacıkları ve dalgaları, gerecekte 3 boyutlu olan nesnelerin iki boyutta tarif edilmesi olan mühendislik çizimlerine benzetti.[16] J.J. Davisson ise kedilerin ve tavşanların davranışları arasındaki farka atıfta bulundu. J.J. Thomson da her biri kendi âleminde güçlü ancak diğerinin dünyasında aciz olan kaplan ve köpek balığının durumuna benzetme yaptı.[17] H.S. Allen, fizikçilerin aynı anda her ikisinde birden yaşamak zorunda olduğu birbirinden kopuk iki bina tasvir etti.[18] Ancak mesele yapılan bütün benzetmelere direniyordu çünkü gerçek hayatta buna benzer bir durum söz konusu değildi. Einstein umutsuz bir şekilde "Bu nedenle artık ışığın iki farklı teorisi var. Herkesin itiraf etmesi gerektiği gibi, yirmi yıllık teorik fizik çalışmalarına rağmen halen aralarında hiçbir mantıksal bağ olmadığı halde her ikisi de vazgeçilmez" demiştir.[19]

Kuantum, en iyi ve en parlak bilim insanlarının çalışmalarını bozuyordu. James Jeans verdiği bir popüler seminerler dizisini şu sözlerle bitirmişti: "Bütün fizik biliminde hiçbir fenomen bilmiyorum ki bizlere burada işlemekte olan fiziksel süreçleri anlamamıza biraz dahi olsa yardımcı olsun. Bu ger-

14 Jammer, *Conceptual Development*, s. 171.

15 Dalga teorisinin bir başka savunucusu olan Bohr da bunu denemişti. 1924'te Einstein'ın düşüncesinin kökünü kurutmak için Hendrik Kramers ve John Slater'ı görevlendirdi ve ışığın nasıl salındığı ve yutulduğunu, Campton etkisini ve fotoelektrik olayını açıklamak için dalga teorisinin kullanıldığı daha geleneksel bir yöntem geliştirdi (N. Bohr, H. Kramers ve J. Slater, "The Quantum Theory of Radiation", *Philosophical Magazine* 47, 1924, s. 785). Darwin ile aynı fikirde olanlar ise, Einstein'ın düşüncesini öldürmek için enerjinin korunumu yasasını terk etmek ve enerjiyi sadece ortalama olarak korumak zorunda olduklarını gördüler. Bunun yanı sıra ışığın nasıl salındığı ve yutulduğuna dair mekaniğin görselleştirilmesi umudunu da terk etmek durumundaydılar. Bohr-Kramers-Slater (BKS) teorisinin bunları terk etmesi, sadece çoğunluk fizikçiler tarafından değil, bu teorinin yazarlarından biri olan ve isminin teoriye zorla eklendiğini sonradan iddia etmiş olan Slater tarafından dahi aşırı bir durum olarak görüldü. Bohr-Kramers-Slater makalesinin yayınlanmasını müteakip bir yıldan az bir zaman sonra deneysel olarak yanlışlanmış olmasından çok az kişi sürpriz olmuş veya üzülmüştü.

16 Roger Stuewer, *The Compton Effect Turning Point in Physics*, Science History Publications, New York, 1975, s. 331.

17 J. J. Thomson, *The Structure of Light: The Pisan Memorial Lecture, 1925*, Cambridge University Press, Cambridge, 1925, s. 15.

18 Stuewer, *The Compton Effect*, s. 331.

19 Albert Einstein, *Berliner Tageblatt*, 20 Nisan 1924.

çek önümüzde dururken, atomun işleyişini anlamak veya atom ve kuantanın gerçek manasını kavramaktan halen çok uzak olduğumuz hususunda ikna olmak için fazla kafa yormaya gerek yok."[20]

1921'deki popüler seminerinde Bragg çok açık sözlüydü:

> Yaklaşık bir açıklama getirecek kadar dahi bilinen hiçbir teorinin üzerinde değişiklik yapılamıyor. Hakkında tamamen bilgisiz olduğumuz ve keşfedilmesiyle eter, dalgalar ve madde arasındaki ilişki hakkında sahip olduğumuz görüşlerimizde devrim yapabilecek bir gerçek var olmalı. Şu an itibarıyla her iki teori üzerinde çalışmak zorundayız. Pazartesi, Çarşamba ve Cuma günleri dalga teorisini kullanalım. Salı, Perşembe ve Cumartesi günleri de kuanta halinde, parçacık halinde enerji akımlarını düşünelim. Nihayetinde bu takınabileceğimiz en uygun tavırdır. Gerçeğin tamamını tarif edemeyiz çünkü her biri sadece belli alanları kapsayan kısmi tariflerimiz var. Bu alanlardan herhangi biri veya diğeri üzerinde çalışmak istersek ona uygun olan haritayı çıkarmamız gerekir. Günün birinde bütün bu haritaları bir araya getireceğiz.

HEISENBERG, SCHRÖDINGER VE İKİNCİ KUANTUM BİLİMSEL DEVRİMİ

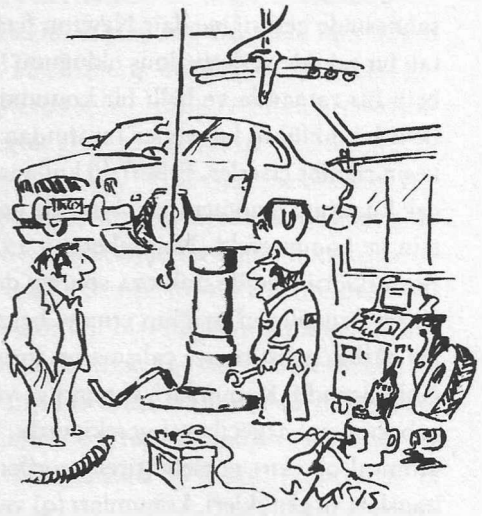
Ardından 1925-27'de bilim tarihinin en kayda değer ve etkisi en geniş alana yayılmış olan gelişmelerinden biri sayesinde haritanın bütünü (aslında iki adet bütün harita) bulundu. İki haritacı, Werner Heisenberg ve Erwin Schrödinger, klasik haritayı adapte etmeye çalışmak yerine sil baştan yeni haritalar çizdi. Ancak sorun bu iki haritanın birbirinden tamamen farklı görünüyor olmasıydı. Haritaların tarif ettiği topraklar (atomların gerçek doğası ve kuanta) herkesin tahmin ettiğinden daha tuhaf yerlerdi.

Eğer birinci kuantum devrimi Newton topraklarında yabancı bir uzaylının varlığının keşfi gibi görülürse (Newton topraklarında bu uzaylının giderek artan sayıda değişik versiyonları bitiyordu), 1925-27 döneminin ikinci kuantum devrimi ise bundan daha büyük bir keşfi ihtiva ediyordu; zaten en başından beri uzaylı topaklarda yaşıyormuşuz ! Bu yeni dünyanın keşfi olan ikinci kuantum devrimi o günden bugüne anlatılagelen bir efsane haline geldi.

1925'te Heisenberg atom altı dünyayı tarif etmek için geliştirilmiş bütün çabaları terk etti. Kuantum dünyasını, ona ait özelliklerin sadece matematiğini kullanarak tarif etmeye karar verdi ve bu özel haritaya matris mekaniği ismini verdi. Bu harita, gözlenen parçacıkların konumu ve momentumu hakkında ne bilinebileceğine ilişkin özel bir limit getiriyordu; belirsizlik pren-

20 James Jeans, *Atomicity and Quanta*, Cambridge University Press, Cambridge, 1926, s. 62.

sibi. Bir sonraki yıl, Erwin Schrödinger, kuantumu tuhaf bir çeşit dalga olarak tanımladı. Bu dalga, bilindik diferansiyel denklemlere göre zaman içinde sürekli ve öngörülebilir şekilde evrimleşen bir dalgaydı. Ancak sonradan anlaşıldı ki bu dalga bizlere uzay koordinatları hakkında bilgi veren bir dalga değil fakat parçacıkların nerede ortaya çıkacağına ait olasılıklar hakkında bilgi veren bir dalgaydı. Bu çalışmalar kuantum teorisini o denli dönüştürdü ki ikinci bir kuantum bilimsel devrimini beraberinde getirdi. Bir önceki kuantum teorisinden ayrı tutmak amacıyla bu ikincisine kuantum mekaniği adı verildi.



Aslında önce kuantum mekaniği ile başlamıştım ama sonra yol üzerinde bir yerlerde yanlış bir yere saptım.

Sidney Harris, ScienceCartoonsPlus.com

Bu devrimden sonra kuantum mekaniği iki bölümden oluşuyordu. Birinci bölümde, bir parçacığın hareketi esnasında bir sonraki adımda nerede bulunacağına dair bilgi vermeyen özel bir alanın varlığı söz konusuydu. Bu alan parçacığın nerede bulunabileceğine ait olasılıkların bilgisini veriyordu sadece. Söz konusu bu bilgi alanının dünya hakkında verdiği bilgi tek ve özel değildi. Birden fazla olasılık vardı ve söz konusu teori bize bu olasılıkların listesini veriyordu. Teori, gerçek olacak olanın neye benzeyeceğini söyleyemiyor, sadece mümkün olan formların olasılıklarına ait bilgi verebiliyordu.

1901'de doğmuş olan Werner Heisenberg, kendisine şöhret ve Nobel ödülü getiren çalışmasını yaptığında henüz genç bir adamdı. Babası Münih Üniversitesi'nde Yunanca profesörüydü. Heisenberg genelde şairler ile eşleştirilen bir karaktere sahipti: şık bir görünüm, alerjilere karşı savunmasız narin bir fiziksellik, mükemmel bir müzisyenlik ve çevresindeki dünyaya karşı hassas ve çoğu zaman duygusal bir duyarlılık.[21] Aynı zamanda oldukça hırslı biriydi. 1923'te Münih'te doktorasını bitirdikten sonra yeni kuantum fiziğini rasyonel yapma arayışına girdi.

21 Robert P. Crease, *The Great Equations: Breakthroughs in Science from Pythagoras to Heisenberg*, Norton, New York, 2011, s. 236.

Heisenberg, kuantum teorisinin, olayların dört boyutlu uzay-zaman sahnesinde geliştiğine dair Newton fiziğinde var olan öngörünün üzerine hatalı bir şekilde yerleştirilmiş olduğunu fark etti. Bu sahnede her şey her zaman belli bir zamanda ve belli bir konumda yer alır. Şeyler hareket ettiğinde ise belli büyüklükte kuvvetler tarafından itilip çekilirler ve uzay-zaman içinde kesin rotalar çizerler. Felsefi dil kullanan bu ontoloji görselleştirilebilirdi. Ancak kuantum fenomenlerini bu yolla görselleştirme çabası Planck, Bohr, Einstein ve Sommerfeld (Heisenberg'in 1923'te Münih'teki danışmanı) ve Max Born (Göttingen'de doktora sonrası danışmanı) dahil olmak üzere dönemin en iyi fizikçilerini mağlup etmeyi başarmıştı. Heisenberg, görselleştirilebilir bir çözüm geliştirmeye çalışmanın sorunun kaynağını teşkil ediyor olabileceğini düşündü. Konumları, rotaları ve yörüngeleri çöpe atalım! Görselleştirme çabasından vazgeçilmesi gerekiyordu. 1925'in ilk birkaç ayında Heisenberg atomsal olayları görselleştiren teoriler üretmeye çalışmaktan vazgeçti. Frekansları ve genlikleri, konumları (q) ve momentumları (p) belli değerleri olan klasik özellikler şeklinde değil fakat fonksiyon operatörleri şeklinde tamamen matematiksel terimler ile tanımlamaya çalıştı.

Heisenberg, Mayıs 1925'te çalışmalarına ara vermek zorunda kaldığı ciddi bir saman nezlesine yakalandı. Alerjenlerden uzak kalmak için kuzey denizinde bulunan kayalık bir ada olan Helgoland'a gitti. Sığındığı adada yavaşça iyileşerek tekrar işe döndü. Önemli bir keşfe yaklaştığını hissettiği gece geç saate kadar çalışıp sonunda sabah 3'e doğru fikirlerini birleştirmeyi başardı:

> İlk başta epey telaşlanmıştım. Atomlar dünyasında fenomenlerin yüzeyinden içeride yer alan tuhaf güzelliğe bakmakta olduğumu hissettim. Doğanın önüme cömertçe serdiği bu zengin matematiksel yapıyı derinlemesine araştırmak zorunda olduğum düşüncesi neredeyse başımı döndürdü. Uyuyamayacak kadar büyük bir heyecan içindeydim. Ve nihayetinde sabah oldu. Adanın güney ucunda uzun zamandır tırmanmayı düşündüğüm denizden çıkarak yükselmiş kayanın olduğu yere gittim. Çok uğraşmadan tırmandım ve günesin dogmasını bekledim.[22]

Haziran ayında Göttingen'e dönen Heisenberg hemen bir makale kaleme aldı. "Deneylerimiz göstermiştir ki bir elektronu mekânın içinde bir nokta ile bağdaştıramayız" diye yazdı. "Bu gerçek, elektronun konumu ve

22 Werner Heisenberg, *Physics and Beyond: Encounters and Conversations*, Harper and Row, New York, 1971, s. 60.

periyodu gibi bugüne kadar gözlenemeyen büyüklüklerin gözlenebileceği ile ilgili umutlarımızı terk etmemiz gerektiğini söylüyor." Bu ifade tam doğru değildi ama aklındakileri özetliyordu. Heisenberg, durumlar arasındaki geçişler ile alakalı genlik ve frekans bilgilerini içeren satır ve sütunlardan oluşan tabloları nasıl derlememiz gerektiğini gösterdi. Bunlara "kuantum teorik büyüklükler" ismini verdi. Bu büyüklükleri "kuantum mekaniksel bağıntılar" ismini verdiği yeni bir hesaplama yöntemi sayesinde birbirleri ile ilişkilendirdi. Söz konusu tabloları bu yeni hesaplama yöntemini kullanarak çarpmak suretiyle klasik mekaniktekine benzer formüller türetmeyi başardı. Bu ilginç matematik yöntemi, kuantum olaylarını hesaplama ve öngörme yeteneğini büyük ölçüde artırdı. Tek engel, yer değiştirme diye tabir edilen bir mesele ile ilgiliydi. Yer değiştirme kuralı, iki sayıyı çarpma işlemi sırasında onları hangi sıra ile çarptığımızın önemli olmadığını söyleyen bilindik matematik kuralıdır: Yani $ab = ba$. Ancak bu kural, Heisenberg'in geliştirdiği yeni hesaplama yönteminde geçerli değildi. Bir kuantum-teorik tabloyu (A diye isimlendirelim) bir diğeri ile (B diye isimlendirelim) çarptığı zaman, bu işlemin hangi sırayla yapıldığı fark arz ediyordu. Yani AB ile BA farklıydı. Heisenberg, makalesinin bir nüshasını Born'a vermişti. Makaleyi inceleyen Born, Heisenberg'in tekerleği yeniden icat etmiş olduğunu fark etti. Heisenberg'in bu ilginç tabloları, matematikçilerin matris diye isimlendirdiği şeylerdi ve geliştiği yeni hesaplama yöntemi ise matematikçilerin matrisleri çarpmak için kullandığı metottu. Yer değiştirme kuralı matrisler için geçerli değildi. Bu çalışma, gerçek dünyada parçacıkların nasıl hareket ettiğini tarif etmeyi sonunda başarmış dikkate değer teorik matematiksel bir gelişmeydi.

Born, Heisenberg'in çalışmasının içinde gömülü harikulade bir keşfin olduğunu fark etti. Bu keşif, yer değiştirme kuralına uymayan kuantum büyüklüklerine ait tabloların arasındaki ilişkiyi gösteriyordu. Momentum bilgisini taşıyan p matrisi ile konum bilgisini taşıyan q matrisi (fizikçiler matrisleri diğer normal değişkenlerden ayırmak için genelde koyu harfle yazarlar) iki farklı sıra ile çarpıldığında, bu çarpımlar arasında fark Planck sabiti ile orantılıydı. Spesifik olarak gösterecek olursak, Born ve yardımcısı Pascual Jordan, $pq - qp = I\,h/2\pi i$ olduğunu gösterdi (I birim matristir. Bu matriste diyagonal değerler 1'e ve diğer bütün değerler ise sıfıra eşittir. i ise karesi –1'e eşit olan sanal birimdir). Yıllar sonra Born "Heisenberg'in kuantum fikirlerini $pq - qp = I\,h/2\pi i$ denkleminde toplamayı başardığımda hissettiğim heyecanı hiçbir zaman unutmayacağım. Bu denklem, geliştirilen yeni mekaniğin merkezindeydi

ve belirsizlik kuralını ima ettiği sonradan anlaşılmıştı" diye yazmıştı.[23] Şubat 1926'da Born, Heisenberg ve Jordan, bu denklemin getirdiği sonuçları inceleyen fizik biliminin köşe taşı makalelerinden birini yayınladı. Bu makale, kuantum dünyasının ilk kapsamlı haritasıydı.

Ne Heisenberg ne de ilk takipçileri, olup bitenin büyüklüğünü fark etmemişlerdi. Tarihçi Pais "olayın matematiği yabancı, fiziği ise anlaşılmazdı" diye yazdı.[24] Şüphe içinde olanlar bekle ve gör stratejisini takip etti. Pauli'nin Heisenberg'in kuralını hidrojen atomuna uygulaması ve Balmer formülünü türetmesi ile çekinceler bertaraf oldu. Ancak Pais bunu yine de "oldukça matematiksel bir uygulama" olarak değerlendirdi.

Kısa bir süre sonra fizikçiler kuantum dünyasının ikinci kapsamlı haritası ile şok oldular. Avusturyalı fizikçi Erwin Schrödinger, karmaşık matris matematiği yerine dalga mekaniğine dayalı olan çok daha okunabilir bir harita geliştirdi. Dalgaların matematiği daha kullanışlıydı ve de dalgalar görselleştirilebilir varlıklardı. Dalgaların özellikleri (frekans, genlik, dalga boyu gibi) düzgün ve sürekli şekilde akan özelliklerdi ve Schrödinger'in bu yaklaşımı uzay-zaman sahnesini yeniden kuruyor ve atom altı dünyanın olaylarını yeniden görselleştirilebilir yapıyordu. Schrödinger'in dalga mekaniği, Ψ fonksiyonu olarak bilinen kafa karıştırıcı bir özelliğe sahipti. Ψ fonksiyonu, Schrödinger'in dalga mekaniğinde dalgalanmakta olan şeydi. Born, kısa süre sonra bu fonksiyonun ne anlama geldiğini yorumladı ve olayların kendisi hakkında değil fakat onların olasılıkları hakkında bilgi veren bir fonksiyon olduğunu söyledi (bu çalışması ile 1945'te Nobel ödülünü kazandı). Sonunda bu iki harita şaşırtıcı şekilde özdeş çıktı. Her ikisi de, gazların kinetik teorisi gibi konularda geliştirilmiş fikirler dahil olmak üzere klasik mekaniğin araçlarını farklı şekilde kullanıyordu.[25]

Heisenberg kuantum dünyasının görselleştirilemez olduğu konusunda ısrarcıydı. Eylül 1926'daki bir makalede "sıradan sezgilerimizin" farklı bir tür gerçekliğe sahip olan atom altı dünyada işe yaramadığını yazmıştı. "Çünkü elektronlar ve atomlar, günlük deneyimlerimizdeki nesnelerde olduğu gibi herhangi bir fiziksel gerçeklik derecesine sahip değildir. Elektronlar ve atomlar için en uygun olan fiziksel gerçekliğin araştırılması tam olarak kuantum mekaniğinin konusudur."[26] Kuantum mekaniğinin sahip olduğumuz gerçeklik anlayışını alt üst edeceği aşikârdı.

23 Max Born, *Physics in My Generation*, Pergamon Press, New York, 1969, s. 100.

24 Pais, *Inward Bound*, s. 255.

25 Örnek için bkz. Stephen Brush, "Irreversibility and Indeterminism: Fourier to Heisenberg", *Journal of the History of Ideas* 37, 1976, s. 603-30.

26 Werner Heisenberg, *Naturwissenschaften* 14, 1926, s. 899-904.

Heisenberg ve Pauli arasında, bir asır sonra dahi okunması halen etkileyici olan bir tartışma gelişti.[27] Ekim ayında Pauli "şimdi esas karanlık noktaya geliyoruz" diye yazmıştı. "q değeri kontrolsüz iken p değerinin kontrollü olduğunu kabul etmemiz gerekiyor. Yani, sabit başlangıç değerleri ile p'ye ait belli değişimlerin sadece olasılıklarını hesaplayabiliriz ve bunlar q'nun bütün olası değerleri için ortalanır." Ardından bir buçuk sayfa boyunca Pauli, bu değerlerden biri hakkında ne kadar bilgi edinirsek diğeri hakkında o kadar az bilgi edinebileceğimizi gösterdi. Hesaplamaların ise halen kafa karıştırıcı olduğunu söyledi. "Bütün bunların fiziği ise benim için baştan aşağı belirsiz. İlk akla gelen soru neden sadece p değerinin (p ve q değerleri aynı anda değil) herhangi bir kesinlik derecesi ile tanımlanabilir olduğudur." Bu durumdan rahatsız olmuş olan Pauli konuyu şu şekilde özetledi: "Dünyaya sadece p'lerin veya q'ların gözüyle bakabilirsiniz. Ancak her iki gözü birden açarsanız her şeyi yanlış görürsünüz." Bu gerçek ne anlama geliyordu?

Tartışmalar, yazılar ve makaleler matematik, fizik ve felsefe arasında sürekli akıp durdu. Heisenberg "belki zaman ve mekân gibi özellikler, bir gaza ait sıcaklık ve basınç özellikleri gibi sadece istatistiksel kavramlardır" diye yazdı. "Benim düşünceme göre tek bir parçacıktan söz edildiğinde, mekânsal ve zamansal kavramlar artık anlamsızdır" dedi ve ekledi: "dalga veya tanecik kelimelerinin ne anlama geldiğini artık kimse bilmiyor."

İlk defa o zaman, fizikçilerin başardığı şeyin ne denli radikal bir doğaya sahip olduğu açık hale gelmişti. Teorilerinin felsefi sonuçlarının da olduğunu aniden gördüler. Çünkü gerçeklik (maddenin sorgulanmayan temel özellikleri) ile ilgili kabuller sorgulanır hale gelmişti ve kritik bir yeniden değerlendirmeye ihtiyaç vardı.[28] Artık kuantumun, sadece felsefecilere değil, fakat toplumun içinde ilgi duyan herkese söyleyecek bir şeyleri vardı. Toplum, kuantumla, dalgalar ve parçacıklar ile, rastgelelik ve belirsizlik ile ve hatta $E=h\nu$ ve $pq - qp = h/2\pi i$ gibi denklemlerle tanışmak üzereydi. Toplumun hoşuna gitse de girmese de, modern dünyayı şekillendiren şeylerin bunlar olduğu söylenecekti. Kuantum dönemi doğmak üzereydi.

İRRASYONEL BÜYÜKLÜK

1935 yılının sevgililer gününde, İngiliz oyun yazarı John Beresford (Amerikalı aktör James Newman'ın büyük büyük babası) *Manchester Guardian*'da "İr-

27 Müteakip alıntıların yapıldığı yazışmanın tamamı için bkz. A. Hermann, K. von Meyenn ve V. Weiskopf, *Wissenschaftlicher Briefwechsel mit Bohn Einstein, Heisenberg u.a*, Cilt 1, New York, Bahar 1979.

28 Örnek için bkz. Jammer, *Conceptual Development*, s. 166.

rasyonel Büyüklük" isimli kısa bir yazı yayınladı (alt başlığı $pq - qp = \sqrt{-1}\ h/2^2$ idi).[29] Bu yazısında Beresford, kuantum teorisinin tuhaflığı ile ilgili gördüğü bir rüyayı anlattı. Kendisi banyoda oturuyorken lavanta banyo tuzlarından gelen güzel kokulu buharın içinde beliren bir varlık tarif etti. "Karekök eksi bir" adında hafif yana yatmış sevimsiz küçük bir adamdı. Bir gözü kör ve bir kolunu kafasının arkasına uzatmış, ve sanki bir notada bütün gamı baştan aşağı kat eden ince sesli metalik bir vızıltı ile ağzında bir şeyler geveleyen biri. Tartışmasız oldukça tuhaf küçük bir adam. Beresford bu yaratığa nereden geldiğini sorduğunda cevabı "insanın aklından geldim" oldu. Yaratık, belirsizlik ilkesi ve kuantum mekaniksel görüşler vasıtasıyla modern dünyaya ve bilime mantıksızlık ve belirsizlik getirmekle suçlanıyor olduğundan yakındığını söylemek için gelmişti. Karekök eksi bir, Newton ve diğerleri kendi mistisizmlerini matematiklerinden ayrı tuttu dedi. "Modern matematikte bir çeşit delik var ve her türlü tuhaflık ve mantıksızlık bu delikten düşüp duruyor." Karekök eksi bir sonra aniden (sesini alçaltarak) "h" ile bir romantizm yaşamakta olduğunu söyledi. Sesini alçaltarak söylemesi Beresford'un dikkatini çekti ve "h" ile Truvalı Helen'i değil, fakat kuantum teorisindeki belirsizlik ilkesini kastettiğini fark etti. Beresford, "Fark ettim ki, tabir yerindeyse, ikiniz sürekli birliktesiniz" dedi. Yaratık "doğru" diye cevap verdi ve heyecanla onun kendisine karşı gösterdiği çift taraflı sevgide belirsiz olan hiçbir şey olmadığını ekledi. "Biliyorsun, kendisine Planck sabiti diye hitap ediyorlar."

Beresford'un, Planck sabiti (h) ve –1'in karekökü sayesinde matematikte ortaya çıkmış ve her türlü tuhaflığa ve mantıksızlığa geçit veren delik tanımlaması, sadece kuantum teorisinin karmaşık bir teori olduğu gerçeğini değil, aynı zamanda dünyanın Newton mekaniksel olmayan pek çok nesne ile dolu olduğu gerçeğini de barındırıyor. Eğer elimizde h sabitinin değerini azaltıp çoğaltarak değiştirmemizi sağlayacak bir ayar düğmesi olsaydı ve eğer h sabitini sıfıra eşit hale getirebilseydik, bu durumda söz konusu delik kapanırdı ve dünyamız tamamen Newton mekaniksel nesnelerden meydana gelen klasik bir dünya olurdu. Ancak bu deliği kapatamayız. Bu gerçek, tuhaf ve mantıksız şeylerin bizlerle var olmaya devam edeceği anlamına gelmekle beraber, Updike'in ifade ettiği gibi, dünyanın bizzat kendisinin boşluklar, tutarsızlıklar, eğimler ve balonlarla dolu olduğu anlamına da gelmektedir.

David Foster Wallace, "Bu açık bir gerçektir ki, bilim insanlarının bizlere ne söylediği ve dünyanın gerçekte ne olduğu arasında daha önce hiç bu

29 *Manchester Guardian*, 14 Şubat 1935.

kadar çok uçurumlar olmamıştı. 'Bizler' derken kastettiğim konunun uzmanı olmayan insanlardır. Bu, adeta milyonlarca Kopernik devriminin aynı anda gerçekleşiyor olması gibi bir şey" diye yazmıştı. Uzay eğimleri ve kuantum parçacıkları gibi hem var hem de yok diyebildiğimiz örneklere değindi. "Dünya ile ilgili sağduyulu deneyimlerimizle çelişen neredeyse sonsuz adet gerçek biliyoruz."[30]

Wallace tabii ki hatalıydı. Bilim, kendi bağlamında ve etki alanında dünyada olup bitenleri güzelce izah eder. Bu bilimin görevidir. Ancak bu bağlamın ve etki alanının dışında dahi, Üçüncü Bölüm'de incelediğimiz metaforik mekanizmalar sayesinde insan olma deneyimimizi ifade edebilmemize yardımcı olur. Kuantum dili ve tasvirleri metaforik anlamda bizlere cazip gelir çünkü kendi deneyimlerimizi tarif etmede yaşadığımız zorluklarımızı yansıtır. Kuantum mekaniği tuhaf olduğu kadar bizler de tuhafız.

Bir başka yazıda Updike şöyle der:

> Bilim insanı olmayanların modern bilimle olan ilişkisi basitçe aç gözlü bir ilişkidir: Bilimsel keşiflerin ve teknolojilerin bizleri hastalıklardan korumasını bekliyoruz. Bizlere daha hızlı bir ulaşım ve kolay bir yaşam sunmasını istiyoruz. Ama aynı zamanda bilimin bize evrendeki tehlikeli ve önemsiz konumumuz hakkında söylediklerinden de kaçıyoruz. Gelişmiş bilim öncesi dünyada güvenliğimize ve önemimize yönelik tehditler yok değildi. Veya Darwin'den önce, Tanrı tarafından bahsedilmiş insani ihtişama karşı ortaya atılmış argümanlar da yok değildi. Ancak yüzyılımızda keşfedilmiş hiç düşünmediğimiz kadar büyük ve hayal edemeyeceğimiz kadar küçük olanların dünyası, henüz daha varlık halinde bile olmadığımız uçsuz bucaksız jeolojik devirler, sayılamayacak kadar çok galaksiler, maddenin atom altı davranışları ve maddenin kalbinde var olan matematiksel karmaşa bizleri sandığımızdan daha derin şekilde yakmıştır. Giacometti'nin aşınmış tel kadar ince figürleri yeni hümanizmin bedenini verirken, Beckett'in minimal monologcuları ise onun zayıf ve umutsuz sesidir.[31]

Bütün insanların sesi Giacometti ve Beckett'inki kadar akıcı olsaydı keşke! Ancak kuantum dilinin ve kavramlarının popüler kültürde kullanımı çoğu zaman, fizikçi John Polkinghorne'nin "kuantum yutturmacası" diye tarif ettiği duruma karşılık gelir. Veya farklı alanlardaki paradokslarla oynamak için bir hoşgörü ehliyeti olarak kullanılır.[32] TV programlarında, karika-

30 David Foster Wallace, *Everything and More: A Compact History of Infinity*, Norton, New York, 2003, s. 22.

31 John Updike, *The New Yorker*, 30 Aralık 1985.

32 John Polkinghorne, *Quantum Physics and Theology An Unexpected Kinship*, Yale University Press, New Haven, 2007, s. ix.

türlerde, tişörtlerde ve kahve fincanlarında bu durum karşımıza çıkar. Updike, kuantumun bizlere sunacağı maddesel şeyleri sorguluyor olsak da, onun manevi anlamda bizleri hâlihazırda değiştirmiş olduğunu iddia eder. Kuantum, deneyimlerimizi yorumlamada yardımcı olan yeni tasvirler sunmuştur bizlere. Bu sayede, dünyayı daha iyi kavrayabilme noktasında Newton mekaniği ile kıyas edilebilir bir ölçüde fayda sağlamıştır. Kuantum dili ve tasvirleri, deneyimlerimizdeki boşluklara, tutarsızlıklara, eğimlere ve balonlara olan hassasiyetimizi artırmak suretiyle dünyamızı değiştirmiştir. Bu değişmiş dünyada kaleme alınan edebiyat, kuantum dilini ve tasvirlerini doğrudan kullanmasa dahi onların etkisini yansıtabilir.

Teju Cole'un *Açık Şehir* isimli romanını örnek alabiliriz. Romanın kahramanı Julis, New York'ta yaşayan Alman asıllı Nijeryalı bir psikologdur. Julis, adapte olmaya çalıştığı yeni ortamında rastgele yürüyüşlere çıkar ve bu yürüyüşler sırasında düşünceleri bir konudan diğerine atlar; bir ördek sürüsünün gözünden şehir nasıl görünüyor, New York şehrindeki köle ticaretinin tarihi, 9/11 olaylarının nedenleri ve etkileri ve çeşitli müzik ve edebiyat eserleri... Kuantize olmuş bir çeşit mental faz uzayında oradan oraya geçiyor olsa da sesi kendinden emin, bilgili, duygusuz ve kopuktu. Geçtiği yerleri düzgün bir doku halinde birbirine bağlamasını sağlayacak derin bir düşüncenin eksikliğini yaşıyordu. "Hayatı bir süreklilik olarak deneyimliyoruz" diye düşündü. "Ve sadece her şey dağıldıktan ve geçmişte kaldıktan sonra ondaki süreksizliklerin farkına varıyoruz" dedi. Geçmiş, eğer gerçekten öyle bir şey varsa, boş bir uzaydan ibarettir. İçinde insanların ve olayların yüzdüğü devasa hiçlik alanlarından ibarettir.[33]

Bu ifadeler, Cole'un kahramanının kuantum dili ve tasvirlerini kullanmaya en çok yaklaştığı örnekler iken, dünyaya dikkatlice baktığımızda onda fark ettiğimiz boşluklara ve eğriliklere olan hassasiyetimizi de ifade etmektedir. Ancak Newtonsal sezgilerimiz bunları örtbas etmemizi, boşlukları doldurmamızı veya onların önemsiz şeyler olduğunu söyler bize. Pek çok bilim insanı, kopuklukların ve süreksizliklerin, boşlukların ve tutarsızlıkların modern yaşamın günümüzdeki belirgin parçaları olduğunu öne sürmüştür. Örneğin George Dyson, *Turing'in Katedrali: Dijital Evrenin Kökenleri* isimli kitabında, dijitalleşmenin yaşamdaki süreksizlikleri yansıttığını iddia etmiştir. Bu durum, modern dünyadaki yaşam şeklimize özgü bir durumdur. Pek çok modern roman, farklı şekillerde de olsa bu gerçeği yansıtmaktadır. Karakter-

33 Teju Cole, *Open City*, Random House, New York, 2011, s. 155.

lerin merkez bir odak etrafında toplandığı ve "merkezkaç" romanları diye niteleyebileceğimiz bazı çalışmaları (Örneğin Colum McCann'ın *Bırakın Dönsün Bu Büyük Dünya* romanı) örnek olarak verebiliriz. Bu romanlar, noktaları bir araya getirmek suretiyle bir resim inşa eder. 2013'te Almanya'da Uluslararası Edebiyat Okulu'nu ve Hemingway Ulusal Kitap / PEN ödülünü kazanan ve Uluslar Kitap Eleştirmenleri Ödülü'nün finalisti olan Cole'un kitabı başka bir tür olarak görülebilir. Boşlukların ve tutarsızlıkların hikâyenin tamamının bir parçası olduğu bu türü, edebiyatın balonları ve eğrilikleri olarak isimlendirebiliriz. W.G. Sebold ve Julian Barnes'ın çalışmaları buna verebileceğimiz diğer örnekleri teşkil eder.

Deneyimlerimizdeki boşluklar ve tutarsızlıklar her zaman oradaydı. Kuantum terimleri ve tasvirleri varlığını zaten her zaman bildiğimiz bu şeyleri tarif etmek için bizlere bir dil sunar. Burada sanat, kendi dönemini özel bir yöntem ile yansıtır. Kuantum, bu edebiyatın ortaya çıkış nedeni değildir. Ancak modern deneyimlerimizi tarif etmemizi sağlayan çarpıcı tasvirleri bizlere tam zamanında sunacak bir süreçte gelişmiştir.

Cole veya diğer yazarların romanlarını yazarken özellikle kuantum teorisine atıfta bulunmaya çalıştıklarını söyleyemeyiz. Bu fizik kavramları modern dünyayı tarif etmede çokça kullanılan entelektüel araçlar haline gelmiştir. Bu araçları kullananlar öyle yaptıklarının tam olarak farkında dahi olmamıştır. Söz konusu araçlar basitçe her profesyonel yazarın takım çantasında bulunur hale gelmiş ve deneyimleri daha sağlam ve açık bir dille ifade etmeye yardımcı olmuştur. Ancak her marangozun bildiği gibi, yeni araçlar edinmek sadece yapılan işe daha büyük bir hassasiyet getirmekle kalmaz, yeni şeyler yapma yeteneğini de beraberinde getirir. Kullanılan belirli dil ve tasvirlere ilerleyen bölümlerde özel örnekler sunacağız.

ERWIN SCHRÖDINGER'İN HARİTASI / WERNER HEISENBERG'İN HARİTASI

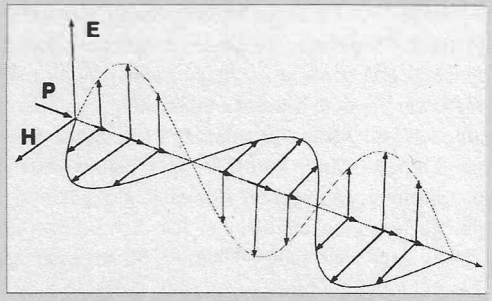
Sınıfta ders esnasında, Heisenberg ve Schrödinger'in yaklaşımlarındaki farklılıkları daha detaylı şekilde ele alıyor ve tartışmalarda kullanılan anahtar kelimeleri veriyoruz. Bunu yaparken, biraz sabır göstermeleri halinde bilim bölümlerinde okumayan öğrencilerin dahi anlayabilecekleri bir yol takip ediyoruz. Bu ara bölümde benzer bir özet sunacağız. Eğer sınıfta uyuklamayı seven öğrencilerdenseniz bu ara faslı atlamanızda bir sakınca yok.

Işık hakkında iki varsayım kullanırız. Birincisi, Einstein'ın fotoelektrik olayı makalesinde ifade ettiği, ışık kuantumunun (ya da diğer ismiyle fotonun) enerjisi, dalga misali etrafa yayılmış olmak yerine bir parçacık misali mekân içinde bir noktada toplanmıştır. Ancak yine bu enerji, Planck'ın $E=hv$ formülü sayesinde bir şekilde dalga kavramı ile bağıntılıdır. Bu denklemde E enerjiye, h Planck sabitine ve v sembolü ise dalga frekansına karşılık gelir. İkinci varsayım ise, bu fotonların yoğunluğunun (yani birim zamanda birim alandan geçen fotonların sayısı) söz konusu ışığın şiddeti ile orantılı olmasıdır. Birim zamanda birim alandan geçen enerjiye güç yoğunluğu adı verilir. Maxwell'in klasik elektromanyetik teorisi, bir klasik elektromanyetik dalganın güç yoğunluğunu bir vektör ile tarif eder. Bu vektör, hem elektrik hem de manyetik alanların gücünü kapsar. Sabit bir frekans değeri için, güç yoğunluğunu her bir fotonun enerjisine bölmek suretiyle foton yoğunluğunu elde ederiz.

Şimdi ise bir ışık dalgasının bir ekran üzerine, belli bir yere az miktarda ve başka noktalara ise çok miktarda güç aktaracak şekilde geldiğini düşünelim. Fotonlar, çok güç aktarılan yerlere az güç aktarılan yerlere kıyasla daha sıklıkla çarpar. Bunun yanı sıra bir dalgadaki anlık enerji yoğunluğu için, yine elektrik ve manyetik alanlara bağlı olarak bir ifade yazabiliriz. Buradaki enerji yoğunluğu basitçe birim hacme düşen enerji miktarıdır. Bu nedenle de foton sayısı yoğunluğu, enerji yoğunluğunun her bir foton enerjisine oranıdır. Bu yoğunluğun yüksek olduğu durumlarda çok sayıda foton tespit edilirken yoğunluğun düşük olduğu durumlarda foton sayısı da düşüktür. Hatta tek başına bir fotonun, örneğin bir mikrodalga fırının içinde hapsolduğu bir durumu dahi hayal edebiliriz. Buradaki elektromanyetik alanda depolanmış toplam enerji hv değerine, yani söz konusu tek bir fotonun enerjisine eşit olmalıdır. Ancak aynı zamanda fotonun mekân içinde belli bir noktada lokalize olduğunu kabul ediyoruz. Bu çelişkiyi nasıl izah edebiliriz?

Kuantum mekaniğinde, ister özgür olsun ister belli bir yerde hapsedilmiş olsun, tek bir foton için bir dalga fonksiyonu yazılır. Bu fotonu mekân içinde herhangi bir noktada tespit edebilme olasılığı, söz konusu dalga fonksiyonunun büyüklüğünün karesi ile orantılıdır. Yani fotonu bulmak için tekrar tekrar ölçümler yapsak, onu bazen bir yerde bazen de başka yerlerde tespit ederiz. Olasılık yoğunluğu, ne sıklıkla nerede karşımıza çıkacağını belirler.

Olup biteni bu şekilde görselleştirmeye fiziksel yorumlama denir. Burada iki örnekleme vardır. Birincisi, elektromanyetik alanın tamamen hesaplanabilir olmasıdır. Bu sayede zaman içinde gelişimi tamamen öngörülebilir. İkincisi, bir fotonun belli bir zamandaki konumunun ise öngörülebilir olmayışıdır. Bulunması mümkün olan konumların olasılık dağılımı hakkında bilgi sahibi olabiliriz ancak. Elektromanyetik alanı, fotonun dalga fonksiyonu olarak tanımlayabiliriz. Bu fonksiyonun karesi, söz konusu fotonu yakınlarda bir yerde bulma olasılığını verir.



Klasik bir elektromanyetik dalganın şekli. Burada E elektrik alanının yönünü ve H ise manyetik alanının yönünü göstermektedir. Dalganın hareket yönünü gösteren P ise, güç yoğunluğunu, yani dalganın birim zamanda birim alan başına taşıdığı enerjiyi ifade eder. Dalganın güç yoğunluğunun hv değerine bölünmesi sonucu birim zamanda birim alan başına düşen foton sayısı elde edilir. Kuantum mekaniksel uygulamalarda, bir dalga boyu büyüklüğünde olan bir kutunun içindeki fotonların sayısı küçük ise, dalganın enerji yoğunluğundan fotonun yakındaki bir bölgede bulunma olasılığını hesaplayabiliriz (Chi Ming Hung'un izniyle).

Ancak fotonun ve bir elektronun kuantum mekaniksel tarifi arasında önemli bir fark vardır. Klasik fizik, Maxwell denklemleri sayesinde fotonun dalgası için hareket kurallarını verir. Bu kurallar fotonun ışık hızında hareket etmesini gerekli kılar. Ancak klasik fizik, bir elektron dalgası için hareket kurallarını veremez. Hatta elektron dalgası için hareket kurallarını ihtiva dahi etmez. Elektron parçacıkları ışık hızı ile hareket etmek zorunda değildir ve yavaş bir hızla hareket edebildiği gibi hareketsiz halde dahi olabilirler. Einstein'ın ışık parçacıkları kavramını keşfetmesi gibi Schrödinger de elektron parçacıkları için olasılık yoğunluğunu tarif eden dalga fonksiyonunu keşfetmiştir.

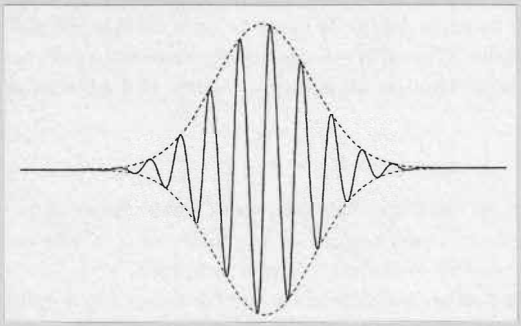
Schrödinger'in Yaklaşımı

Schrödinger, 1925-26 kışında, fotonlar için söz konusu olan klasik elektromanyetik dalga fonksiyonunun bir benzerini elektron misali parçacıklar için keşfetmek çabasına koyuldu (en azından yavaş hareket eden ve rölativistik olmayan parçacıklar için). Schrödinger'in Alp dağlarında metresi ile beraber geçirdiği birkaç haftalık zaman içinde geliştirdiği rivayet edilen dalga fonksiyonu, tıpkı klasik elektromanyetik dalgalar gibi tamamen deterministiktir. Schrödinger bu dalga fonksiyonunu birkaç anahtar malzemeden inşa etmiştir. Birincisi, Planck'ın enerji ve frekans arasında $E=h\nu$ denklemi ile tanımladığı ilişkidir. Diğeri, önceleri Einstein tarafından tartışılmış ancak sonraları fiziğe ilk defa Louis de Brogile tarafından $p=h/\lambda$ denklemi ile uygulanmış olan momentum ve dalga boyu arasındaki ilişkidir. Üçüncü anahtar malzeme ise Maxwell'in denklemlerinde olduğu gibi bir fonksiyonun zaman ve konum değişimlerini tanımlayan diferansiyel denklemlerdir. Bu değişim oranları frekans ve dalga boyu ile yönleniyor olduğu için zaman türevinin enerjiden ve uzay türevinin ise momentumdan belirlenmesi mümkündür.

Schrödinger'in dalga fonksiyonunda dalgalanan şey Yunancadaki "psi" harfi (Ψ) ile gösterilir. Dalgalanan bu şeyin ne olduğu hakkında Schrödinger'in fiziksel bir yorumu olmadığı gibi söz konusu dalga fonksiyonunu parçacıkların davranışları hakkında belli öngörüler yapmak için nasıl kullanabileceğini de bilmiyordu. Ancak böyle bir metodun sonunda gün yüzüne çıkarılacağını umuyordu. Meslektaşları, belli bir nokta için bu dalganın büyüklüğünün karesi hesaplandığında, söz konusu noktada bir parçacığın var olma olasılık yoğunluğunun elde edildiğini gösterdi. Yani momentum (p) veya konum (x) gibi gözlenebilen büyüklükler için Schrödinger'in dalga fonksiyonu hesaplandığında olasılık dağılımları elde ediliyordu. Bu hesaplama, bir parçacığın belli konumda bulunma olasılık yoğunluğunun, olasılık dalgasının bu konumdaki büyüklüğünün karesi ile orantılı olduğu anlamına geliyordu.

Kuantum dalga fonksiyonunu irdelemenin doğal ve nitel bir yolu vardır. Teorik olarak belli bir dalga boyuna ve belli bir yöne sahip olan bir dalga, tanımı itibariyle sonsuz alana yayılmıştır. İleride veya geride ne kadar öteye bakarsak bakalım her yerde aynı şekilde dalgalanır. Merkezinden uzaklaştıkça büyüklüğü hızlıca azalan lokalize olmuş bir dalga meydana getirmek istesek dalgaları süperpoze etmemiz gerekir. Yani farklı dalga büyüklüğüne ve farklı yönlere sahip çok sayıda dalgayı, büyüklükleri itibariyle merkezde birbirlerini güçlendirecek şekilde bir araya geldikleri bir formda üst üste toplamamız gereklidir. Fakat merkezden uzaklaştıkça aynı dalgaların birbirlerini sönümlüyor olması gereklidir. Bu şekilde bir diziye dalga paketi adı verilmektedir.

Belli bir dalga boyu ve yön için maksimum büyüklüğe sahip olan farklı dalgalar için katsayılar seçebiliriz. Bu katsayılar, dalga boyu uzayında bir dalga fonksiyonu meydana getirir. Ardından momentum ve dalga boyu arasında var olan de Brogile bağıntısını ($p=h/\lambda$) eklediğimizde bu defa momentum uzayındaki dalga fonksiyonunu elde etmiş oluruz.



Her yönde sonsuz bir alana yayılmak yerine belli bir konumda lokalize olmuş bir dizi dalga boyu içeren Gauss dalga paketi, belli bir dalga boyuna sahip tek bir dalga gibi davranır. Şekilde görülen merkezde zirve yapmış ve düzgün değişime sahip kesikli çizgi, söz konusu dalganın sınırını belirler. Bu dalga paketi, zirve yaptığı merkezi bölgede birbirini güçlendirir şekilde ve merkezden uzaklaştıkça birbirini sönümler şekilde üst üste binmiş çok sayıda dalgaların toplamı gibi düşünülebilir (Chi ming Hung'un izniyle).

Schrödinger'in yaklaşımı, atomu meydana getirmek üzere çekirdeğe bağlanmış halde bulunan farklı elektron dalgalarının enerji seviyelerini doğru şeklide verdiğinden dolayı son derece tatmin edicidir. Ancak aynı zamanda rahatsız edicidir de. Çünkü en başından beri elektronlar parçacıklar olarak kabul edilmiştir. Aynı anda dalga olarak nasıl tarif edilebilirler ? Buna ek olarak, Schrödinger'in kendisi olasılık yorumunu tam olarak hiçbir zaman kabul etmediği halde pek çok meslek-

taşı bu yorumu kabul etmiştir. Bu gerçek, olasılıkların dünyanın yapısında temel bir role sahip olduğunu bir kez daha doğrulamıştır. Dalga fonksiyonunun büyüklüğünün karesi, bir elektronun belli bir noktada bulunma olasılık yoğunluğunu belirlemek demektir.

Schrödinger, uyarılmış atomların geri ışıma yaparken yaydıkları ışık için mümkün olan frekansları hesaplamada dalgaların bilindik matematiğini kullandı. Bu nedenle geliştirdiği formülasyona doğal olarak "dalga mekaniği" adı verildi.

Heisenberg'in Yaklaşımı

Schrödinger'den birkaç ay önce çalışmalarına başlamış olan Heisenberg, farklı bir matematiksel yöntem kullanarak aynı sonuçları elde etti. Heisenberg'in yöntemi "matris mekaniği" adı ile anılır. Heisenberg, olaylara fiziksel yorumlar getirebilmek adına atomlarda klasik elektron yörüngeleri tanımlamak için uğraşmaya dahi gerek olmadığı düşüncesinden yola çıktı. Bunun yerine öncelikle konum ve momentum gibi gözlenebilir büyüklüklere odaklanmak gerektiğini ve ardından bunların zaman içinde nasıl geliştiğini belirleyen kuralları bulmak gerektiğini düşündü. Schrödinger gibi Heisenberg de diferansiyel denklemler kullandı. Ancak bunu yaparken amacı bir dalga fonksiyonu oluşturmak değil fakat p (momentum) ve x (konum) arasında bir bağıntı geliştirmekti. Buna ek olarak söz konusu denklemler, Newton'un yaklaşık üç asır önce geliştirdikleri ile aynıydı! O halde değişmiş olan neydi? Geliştirdiği denklemleri olayın kuantum versiyonu yapan neydi? Bu sorunun cevabı söz konusu gözlenebilir değişkenlerin, aritmetiğin yer değiştirme kuralına riayet eden ($pq - qp = 0$) basit sayılar olmak yerine, $pq - qp = \hbar/i$ kuralına riayet eden matrisler veya operatörler oluşuydu. Bu denklemde i sembolü, $i^2 = -1$ olan sanal birim sayısıdır. $\hbar$ sembolü ise $\hbar = h/2\pi$ ile tanımlanır. Bu görünüşteki ufak değişikliğin sonucunda atomlardaki elektronların müsaade edilir enerji seviyeleri artık sürekli değerler olmaktan çıkar ve münferit kuantum enerji seviyelerinden oluşan diziler haline gelir. Buna ek olarak, herhangi bir an için bilinen momentum ve konum bilgisinin bir sonraki anda ne olacağının kesin olarak öngörülmesi imkânsız hale gelir.

Birleştirme

Schrödinger ve meslektaşları bir süre sonra bu iki formülasyonun, birbirinden çok farklı yaklaşımlardan yola çıkıyor olmalarına rağmen matematiksel olarak eşdeğer olduğunu gösterdi.

Schrödinger ve Heisenberg'in yaklaşımlarının arasında doğrudan bir ilişkisi olduğunu anlamanın anahtarı daha önce sözünü ettiğimiz yer değiştirme kuralında yatar ($pq - qp = \hbar/i$). Schrödinger, Maxwell'in ışık için elde ettiği denkleme benzer bir diferansiyel denklemi kendi dalga fonksiyonu (Ψ) için elde etti. Bu tür bir denklem, fonksiyonların türevlerini zaman ve konuma göre ilişkilendirir. Bir fonksiyonun herhangi bir x noktasında konuma (x) göre türevi, df/dx, her bir birim x değişimine karşılık söz konusu fonksiyonun ne kadar değiştiğini tarif eder. Schrödinger'in denkleminde, x yönünde konuma göre türevin doğal bir yorumu ortaya çıkar. Buna göre söz konusu türev, bir parçacığın x yönündeki momentumunu tarif eder: $d\Psi/dx = ip\Psi/\hbar$. Diferansiyel almanın standart kuralları takip edildiğinde sonuçta Heisenberg'in yer değiştirme bağıntısı elde edilir.

Ayrı ayrı veya beraber düşünüldüğünde her iki yöntem de ışıma teorisinde devrim niteliğindedir. Örneğin bir atomun belli bir durumda olduğunu ve sonra bir foton yayarak daha düşük enerjili bir başka duruma geçiş yaptığını düşünelim. Enerjinin korunumu ilkesi gereği bu iki durum arasındaki enerji farkı yayılan fotonun enerjisine eşit olmak zorundadır. Fotonun bu enerjisi, $E=h\nu$ Planck denklemi gereği fotonun frekansı ile bağıntılıdır. Schrödinger ve Heisenberg'in metotlarını kullanarak hidrojen atomu için iki farklı durum arasındaki enerji farkını (Bohr'un veya Sommerfeld'in pek çok dahice tahminine müracaat etmeye gerek bırakmadan) sistematik olarak hesaplayabiliriz.

Buna ek olarak kuantum mekaniğinin artık daha karmaşık sistemlere (birden fazla elektronu olan atomlar gibi) uygulanması da mümkün hale gelmiştir. Hesaplamalar her ne kadar daha karmaşık hale geliyor olsa da cevaplar halen özgün ve anlaşılır formdadır. Eski teori, bu gibi karmaşık sistemler için faydasızdı. Bu nedenle Schrödinger ve Heisenberg'in çalışması kuantum mekaniğinin gücü, tutarlılığı ve bütünselliği hakkında ilk delilleri ortaya koymaya başlamıştı ve bu günümüze kadar devam etmiştir.

YEDİNCİ BÖLÜM

Belirsizlik

Felsefeci Ray Monk "Fiziksel dünya Eylül 1927'de değişti" diye yazmıştır. Monk, Virginia Woolf'un ünlü bir bildirisini kendine uyarlayarak söylediği bu sözünde tamamen haklıydı.[1] Yüzlerce yıl boyunca doğa, kendisini inceleyen insanlardan açık bir şekilde ayrı tutulabiliyordu. Her bir parçası kendine özgü bir kimliğe ve konuma sahipti. Bu parçaların her biri, bütün ölçeklerde aynı yasalara riayet ediyor ve tamamen kestirilebilir şekilde hareket ediyordu. İlk çeyrek asrında kuantum teorisi, bazı fizikçileri bu kabullerin bazılarını çekinerek de olsa sorgulamaya itmiştir. Ancak 1927 Mayıs ayında Heisenberg tarafından Almanya'da yayınlanan, ardından Eylül ayında İtalya Como'daki bir konferansta Bohr tarafından öne sürülen ve sonrasında Brüksel'de Ekim ayında gerçeklesen 5. Solvay Konferansı'nda Bohr ve Einstein arasında ömür boyu devam edecek olan bir tartışmayı başlatan belirsizlik ilkesinin ortaya çıkmasıyla bütün bu kabullerin hatalı olduğunun kanıtı yüzle-



Ama Heisenberg'in belirsizlik prensibini her şeye uygulayarak yaşayamazsın hayatını.

Sidney Harris, ScienceCartoonsPlus.com

1 Ray Monk, *Robert Oppenheimer: A Life Inside the Center*, Doubleday, New York, 2012, s. 142.

re çarptı. Öncelikle, Newton'un dünyası ile kuantum dünyası arasında bir köprü kurmak mümkün değildi. Görünen o ki doğa, herkesin tahmin ettiğinden çok daha tuhaf bir yerdi.

Fizikçiler ve filozoflar, belirsizlik ilkesinin doğa ile ilgili ortaya çıkardığı yeni resmin son rötuşlarını nasıl yapmak gerektiği konusunu günümüzde halen tartışıyorlar. Ancak popüler kültür belirsizlik ilkesinin 1927'de ortaya çıkışından kısa bir süre sonra bu ilkenin sonuçlarını keşfetmeye ve kullanmaya başladı. O zamana kadar kuantum fiziği popüler kültürde çok az konuşulmuştu. Gazeteler ve dergiler bu teoriyi fizikçileri heyecanlandırdığından dolayı ilgi çekici ancak açıklanması çok karmaşık bir konu olarak görmüştür. Dünya görüşümüzü değiştiren bilimsel gelişmelerle profesyonel anlamda ilgili olan filozoflar bile kuantum fiziğini özellikle ilginç veya önemli felsefi problemler ortaya koyan bir konu olarak görmemişlerdir.[2] 1927'den hemen sonra belirsizlik ilkesi, kuantum mekaniğinin sahip olduğu bütün terimler içerisinde en bilinen ve en çok kullanılanı olmuştur. Hatta yeni bir mizah türünün ortaya çıkmasına dahi kaynak olmuştur.

Fıkralardan birinde bir polis memuru hız limitini aştığından dolayı Heisenberg'i durdurur ve ona "Ne kadar hızlı gittiğinizi biliyor musunuz?" diye sorar. Heisenberg kendinden emin bir şekilde; "Hayır, ama nerede olduğumu tam olarak biliyorum!" diye cevap verir. Aynı fıkranın bir başka versiyonunda ise polis memuru Heisenberg'i durdurur ve "Saatte 90 mil hızla gittiğinizi biliyor muydunuz?" diye sorar. Heisenberg ise "Teşekkür ederim ama sayenizde artık kayboldum" der. Yine bir başka versiyonda ise Heisenberg'in sevgilisi şikâyet eder; "iyi bir hızın var ama pozisyonun kötü!"

Bu esprileri herkes anlıyor çünkü herkes Heisenberg'in ilkesinin bir nesnenin hangi konumda olduğu ve nasıl hareket ettiği arasında bir çeşit pazarlık içerdiğini bilir. Biri hakkında ne kadar çok bilgiye sahip olursanız diğerini o kadar az bilirsiniz. Ancak bu espriler teknik anlamda doğru terimi, hem hız hem de yön bilgisini içeren bir vektör büyüklüğü olan momentum terimi yerine sadece hızı telaffuz ettiklerinden dolayı aslında biraz hatalıdırlar.

Komedyen Emily Levine bir gösterisinde daha doğru bir versiyonu kullanmayı denedi: "Bir gün bir fizikçi işe giderken neden otobüse binmek zorunda kalmış? Çünkü arabasının anahtarının momentumunu kesin olarak biliyormuş!" Ancak Levine, ön gösterileri sırasında fizikçiler dışında kimsenin bu espriyi anlamadığını görmüş (fizikçi anahtarın momentumunu kesin ola-

2 Bkz. Dorothy Wrinch, "The Relations of Science and Philosophy", *Journal of Philosophical Studies* 2, 1927, s. 153-66.

rak biliyorsa anahtarın nerede olduğunu bilemez) ve bu espriyi kullanmaktan vazgeçmek zorunda kalmış. Çünkü momentum terimi, çoğu insanı üzerinde düşünmekten dolayı gülemez duruma getirmiştir.

Belirsizlik ilkesi ile ilgili diğer espriler jargona hâkim olanlar için geliştirilmiştir:

> Soru: Heisenberg'in operatörleri neden bulundukları yerden uzağa gitmez?
> Cevap: Çünkü yer değiştiremezler.

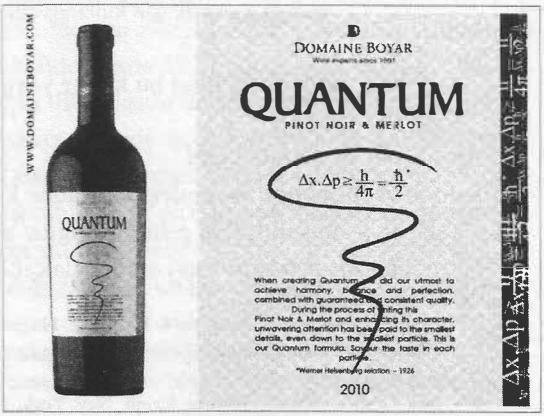
Bu espri, konum ve momentumun kuantum teorisinde teknik anlamda belli bir büyüklüğe vekâlet eden değişkenler olmak yerine operatörler (fiziksel durumları tanımlayan fonksiyonlar) olduğu gerçeğine dayanır. Ve bir önceki bölümde değindiğimiz üzere operatörler, yer değiştirme kuralına tabi değildiler.

Belirsizlik ilkesi karikatürlerde de kendini gösterir.



Dilbert (Universal Uclick).

Belirsizlik ilkesi hatta bir şarap etiketinde dahi yer almıştır.



Bunun yanı sıra belirsizlik ilkesi (şaka olsun diye değil, ciddi anlamda) sahne sanatlarına, antropolojiye, arkadaşlık ilişkilerine, gazeteciliğe, aşka, felsefeye, politikaya, psikolojiye, dine, sosyal davranışlara ve daha pek çok konuya uygulanmıştır. Bazı filozoflar belirsizlik ilkesinin felsefi

idealizmi perçinlediğini söylerken diğer bazı dindar yazarlar ise özgür iradenin varlığının bilimsel anlamda tanınmasına kapı açtığını iddia etmişlerdir. *İnsanın Yükselişi* isimli kitabında Polonya asıllı İngiliz bilim insanı Jacob Bronowski belirsizlik ilkesini Tolerans İlkesi olarak isimlendirirken, "Newton'un topu: Amerika'nın Spor Oyununun Ardındaki Bilim" isimli çalışmada Allen St. John ve Ainissa G. Ramirez ise bu ilkeyi saha baskısını açıklamak için kullanmıştır. Belirsizlik ilkesi diğer bazı kesimler için manevi anlam taşımıştır. Amerikan Tiyatro dergisinde yayınlanmış ve tiyatro müdürü Anne Bogart ile Kristin Linklater arasında geçen bir konuşmayı örnek olarak verebiliriz.

> Linklater: Bir düşünür en üst manevi mertebenin güvensizlik oluğunu söyler.
> Bogart: Heisenberg bunu matematiksel olarak ispat etti.
> Linklater: İşte gördün mü!

Görünüşe göre Bogart ve Linklater belirsizliğin "güvensizlik" anlamına geldiğini düşünmüştür. Bu doğru mu? Heisenberg'in ilkesi fiziğin dışında herhangi bir anlam taşır mı? Çoğunluk bu fikirde değil. Kaliforniya Üniversitesi'nden felsefeci Craig Callender, *New York Times*'ta "Görülecek Bir Şey Yok: Belirsizlik Prensibinin Rütbesini Sökmek" başlıklı bir yazı yayınladı. Bu yazısında "Saçma metafiziksel iddiaları onaylamak için kuantum mekaniğinin kullanılmasına bir son verelim" demiştir.[3] Aşağıdaki paragraf John Updike'in *Roger'ın Versiyonu* isimli romanından alıntıdır:

> "Heisenberg'in belirsizlik ilkesine göre gözlenmediği sürece o bir hayalet".
> Kanım beynime sıçradı ve Dale'e şöyle dedim: "Burada beni entelektüel anlamda kızgın yapan bir şey varsa o da öğrencilerin ikide bir kuantum mekaniğini ve Heisenberg'in ilkesini idealizm denen o eski korkunç felsefeye delil getirmek için kullanıp durmalarıdır."[4]

Belirsizlik ilkesi nasıl bu kadar yaygın ve polimorfik hale gelmiştir?

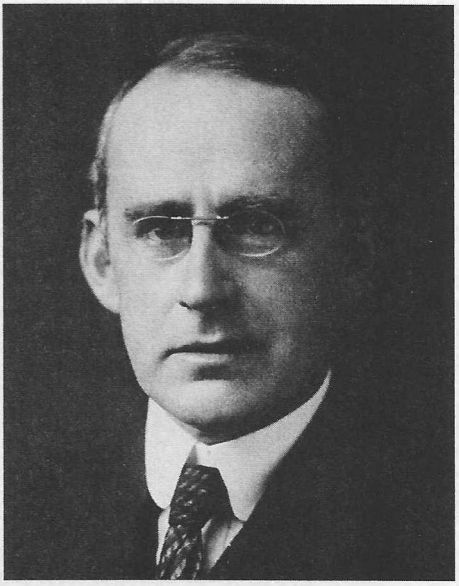
ARTHUR EDDINGTON

Belirsizlik ilkesinin keşfinden bu kadar kısa bir süre sonra bu kadar geniş alanlarda konuşulur hale gelmesi, İngiliz astronom Arthur Eddington'un dahil olduğu bir dizi şans eseri olayla alakalıdır. Tanınmış önde gelen bir astro-

3 Craig Callender, *The New York Times*, 21 Haziran 2013, Online Opinion, http://opinionator.blogs.nytimes.com/2013/07/21/nothing-to-see-here-demoting-the-uncertainty-principle (Erişim tarihi: 24 Temmuz 2013).

4 John Updike, *Roger's Version*, Knopf, New York, 1986, s. 168.

nom olan Eddington, iki dünya savaşı arasındaki dönemde İngiltere'de fizik ve astronomiyi anlatan en önde gelen kişiydi. İhtilaflı meselelerde arabulucu kişiliği ile bilinir ve bu konuda kendisine sık sık müracaat edilirdi. Örneğin Birinci Dünya Savaşı'ndan sonra İngiliz bilim insanları tarafından reddedilen ve aralarında Einstein'ın da bulunduğu Alman bilim adamları için destek hareketine liderlik etmişti. 1926'da Eddington, Gifford Seminerlerini vermek üzere davet edildi. Bu seminerler din, bilim ve felsefe alanında en önde gelen seminerlerdi ve bir sonraki yıl Edinburgh'ta düzenlenmişti. Eddington, bilimsel düşüncede yakın zamanda ortaya çıkmış olan büyük değişimlerin felsefi sonuçlarına değinmeye karar vermişti.[5]



Arthur Eddington (1882-1944) (AIP Emilio Segrè Visual Arşivi'nin izniyle).

Eddington, seminerlerini 1926'nın ortasından itibaren yazmaya başladı. Heisenberg'in matris mekaniğini geliştirmesinin üzerinden bir yıl geçmişti ve Schrödinger dalga mekaniği konusunda makaleler yayınlıyordu. "Klasik fiziğin başarısızlığı" isimli ilk seminerini 21 Ocak 1927'de verdi. Edinburgh Üniversitesi'nin doğa tarihi amfisini dolduran dinleyicilere "fiziksel dünya ile ilgili bütün fikirlerimiz kuantum mekaniği tarafından derinden sarsılmıştır" diye hitap etti. Mart ayında Eddington'un son seminerini vermesinden kısa bir süre sonra Heisenberg, belirsizlik ilkesini dünyaya ilan etmekle kuantum devriminin köşe taşını yerine koydu. Eddington 1927 yılının geri kalanını, belirsizlik ilkesinin okuyucu kitlesi için ilk anlaşılır açıklamasını da dahil ettiği seminer notlarını yayına hazırlamakla geçirdi. Büyük heyecanla karşılanan seminerleri 1928 yılında *Fiziksel Dünyanın Doğası* ismiyle yayınlandı.

Eddington, belirsizlik prensibinin özü şudur diye yazmıştı: "Bir parçacık konuma sahip olabilir veya hıza sahip olabilir. Ancak tam anlamıyla her ikisine birden sahip olamaz."[6] Bu değerlerden birinin ölçülmesinin nasıl diğe-

5 Arthur Eddington, *The Nature of the Physical World*, MacMillan, New York, 1928, s. v.

6 Eddington, *Physical World*; müteakip alıntılar: "Principle of Indeterminacy" ve "A New Epistemology", s. 220-29.

rinin kesinliğini kaybetmesi anlamına geldiğini tarif etti. "Bu, şans eseri meydana gelen bir olay değildir. Fakat kurnazca düzenlenmiş bir entrika gibidir. Gerçekte var olmayan bir şeyi görmenizi engelleyen bir entrika; yani, atomun içerisinde elektronun konumu... belirli bir momentumla beraber belirli bir konum alsa gözlenemez. Çünkü doğada böyle bir şey yoktur." Belirsizlik ilkesi yeni bir epistemolojiye ihtiyaç duyduğumuzu gösterir. Fizik dünyasının, onun bir parçası olan ve onun yasalarına tabi olan cihazlarla içinde yaptığımız ölçümler yardımıyla algıladığımız bir dünya olduğunu bizlere bir kez daha hatırlatır. Dünya, kendisinin parçası olmayan cihazlar ile doğa ötesi bir yöntem vasıtasıyla incelendiğinde nasıl algılanırdı bunu bilmemiz mümkün değildir. Kuantum teorisi bizlere bilimin, dünyanın eksiksiz bir açıklamasına erişmek gibi imkânsız bir ideali amaç edinmiş olunduğunu öğretmiştir.

Eddington bu gerçeğin iki önemli felsefi sonucunun olduğunu söyledi. Birincisi özgür irade ile alakalıdır. Newton'un dünyasında bu tartışma, en azından bilimsel bakış açısıyla, determinizmden taraf olan bir sonuca bağlanmıştı: İnsanlar basitçe makineler gibiydi. Tıpkı evrendeki her şey gibi, işleyişleri kuvvetler ve hareketler ile tamamen belirlenmiş olan küçük saatler gibiydi. Ancak belirsizlik ilkesinin keşfi bu düşünceyi paramparça etti ve daha ziyade geleneksel dinsel fikirlere kapıları açtı. Eddington, rasyonel fakat dar görüşlü bir insanın "1927'de din, mantıklı bilimsel bir insan için artık bir mümkünat haline gelmiştir" diye bir sonuç çıkarabileceğini söyledi.[7]

İkinci sonuç ise bilimsel dünyanın sadece "dünyanın" bir parçası olduğu düşüncesidir. "Fiziksel dünyanın yanında manevi bir dünyayı da tanıyoruz." Sonuç olarak "fizikçiler şu anda kendi dış dünyalarını, birkaç yıl önce bilinen ve kabul edilene kıyasla bir miktar daha mistik olarak görüyor."[8] Eddington, kuantum mekaniği bilimin neleri bilebileceğine bir sınır koymakla, mistisizm de dahil olmak üzere başka tür bilgilerin de geçerliliğini ima etmiştir. Eddington, kuantum mekaniğinin bir kültürel komün doğurduğunu, gündelik insanların, dindarların ve kuantum fizikçilerinin ortak bir manevi arayışta kol kola durduğu bir insan –gökkuşağı– koalisyonu meydana getirdiğini gördü.

BRIDGMAN

Bazı bilim insanları Eddington'un düşüncelerine katılırken diğerleri ise karşı çıktı. Karşı çıkmış olanlar Eddington'u kibarca görmemezlikten geldi.

7 Eddington, *Physical World*, s. 350.
8 Eddington, *Physical World*, s. 309, 339.



Percy Bridgman (1882-1961) (Fotoğraf: Bachrach).

Kendisinin her zamanki gibi yine arabulucu rolünü oynadığını, bilim ve din arasında derin bir harmoni olduğu düşüncesini öne sürmek için prestijli Gifford Seminerleri kürsüsünü kullandığını düşündüler.

Harvard fizikçilerinden Percy Bridgman, Eddington'u görmemezlikten gelemiyordu. Bridgman birkaç yıl sonra "*Fiziksel Dünyanın Doğası* isimli kitabını ne zaman düşünsem, büyük bir kısmına dizgin vurmadan edemiyorum" diye yazdı. "Eddington'a bulanık düşünceleri çok açık şekilde açıklayabilen bir kişi olarak saygı duyarım" diye ekledi. Eddington'un kitabı çıktıktan birkaç ay sonra, geleceğin Nobel ödüllü fizikçisi olacak olan Bridgman isyan etti. Ardından 1928'de şükran gününden hemen önce çok sabırsızca bir iş yaptı. Cihazlarını elinden bırakıp, bilimsel literatürünü kenara süpürüp bir magazin makalesi yazma işine kalkıştı. Güncel bilimsel gelişmeler hakkında ara sıra yazılar yayınlayan *Harper's* dergisine bir mektup gönderdi.

Bridgman (1882-1961) daha önce bir magazin makalesi yazmamıştı. Buna kendisini hazırlayacak çok az şey vardı. Cambridge Massachusetts'te dünyaya gelmiş, hayatının büyük bölümünü 1900'de lisans öğrencisi olarak girdiği, ardından yüksek lisans yapıp öğretim görevlisi ve profesör olduğu Harvard'da geçirmişti. Hem iç dünyasını hem de dışa vurularını ayarlayabilen çekingen, çalışkan ve dikkatli bir kişiydi. Alkol veya sigara kullanmayan biri olarak düzenli şekilde egzersiz yapar ve dağlara tırmanırdı. Sakin ve düzenli bir yaşam sürmekle övünür ve zamanını laboratuvar cihazlarını ayarlayarak ve onları temizleyerek geçirirdi. Güç ve parayı hiç umursamaz ve bunların peşinden koşanları küçümserdi. Ona göre peşinden koşmaya değer olan tek şey, yavaş ve metodik bir süreç olan insan bilgisinin geliştirilmesi çabasıydı. Yıllar sonra 1946 sonbaharında heyecanlı bir öğrencisi (Gerald Holton, günümüzde Harvard'ın önde gelen bilim tarihçilerinden) telefonda Bridgman'ın Nobel ödülü kazandığını söyleyen birinin olduğu haberi ile aniden Bridgman'ın labo-

ratuvarına dalıverdi. Cihazlarına bakmakta olan Bridgman kafasını dahi kaldırmadı ve "onlara söyle, ancak gördüğümde inanırım" dedi.[9]

1927'de Bridgman *Modern Fiziğin Mantığı* kitabını yayınladı. Bu kitap, bir bilim insanı için sıra dışı bir kitaptı. Ne bilimi popülarize etmeye çalışıyordu ne de bilimin tuhaflıklarını yumuşatarak okuyucuları rahatlatmak amacındaydı. Bunun yerine Bridgman, zaman ve mekân ile ilgili tuhaf sonuçlar ortaya koyan rölativite teorisinin meslektaşları arasında yarattığı huzursuzluğu açıkça itiraf ediyordu. Kendisinin de hissettiği tedirginliği okurları ile paylaştı. Ancak bu tedirginliği anladığımız zaman bilimi anlayabileceğimize inanıyordu. Operasyonalizm ismini verdiği felsefe ile ilgili ilk yazısında "yapabileceğimiz en iyi şey, belli başlı bazı bilimsel kavramları, bir şeyin uzunluğunu ölçme prosedürü misali, bir dizi operasyon olarak kabul etmektir" diye yazdı.

Bridgman kitabında kuantum teorisine çok az değindi. Ancak belirsizlik ilkesini duyduktan sonra endişeleri daha da arttı. Yeni kuantum mekaniği oldukça rasyoneldi fakat Newtonsal değildi. Yetiştirilirken öğrendiği pek çok kabul paramparça olmuştu. Bunlardan birisi Lord Kelvin'in "eğer bir şeyin mekanik modelini yapabiliyorsam o şeyi anlayabilirim. Eğer detaylı mekanik modeli yapamıyorsam o zaman anlayamam" şeklindeki yorumuydu. Bridgman bu gerçeğin, bilimin örtülü ruhu olduğunu fark etmişti. Ancak bu ruh artık yok olmuştu. Şimdi ne olacaktı peki? Eddington'un, gerçeklik dokunulan, hissedilen her yerde olan bir şeydir düşüncesi ne olacaktı? Bu mesele Bridgman'ı düşünsel ve moral bir krizin içine soktu. Buna ne entelektüel ne de duygusal olarak hazır değildi.[10] Bu mesele ile ilgili konunun dışındaki insanların çok büyük zorluk yaşayacağından emindi.

Bir arkadaşına eğer Heisenberg'in ilkesi tutarsa bunun, Newton'un zamanından bu yana, hatta Einstein'dan bile öte, düşünce dünyasında en büyük devrim anlamına geleceğini yazdı. Küçük ölçeklere inildikçe dünyanın yapısı anlamsızlığa dağılır. "Popüler kültürün bu rüzgâra kapılmasını bekle, sonuç facia olacak" dedi. Özgür iradeciler, şans eserci ateistler ve biyolojide vitalizm destekçileri hepsi birden zafer ilan edecek."[11]

9 Gerald Holton, "Candor and Integrity in Science", *Scientific Values and Civic Virtues* içinde, Noretta Koertge (der.), Oxford University Press, New York, 2005, s. 87.

10 Maila L. Walter, *Science and Cultural Crisis: An Intellectual Biography of Petty Williams Bridgman (1882-1961)*, Stanford University Press, Redwood City, CA, 1991, s. 4.

11 Bridgman'dan Korzybski'ye, 18 Mart 1928. In Percy Williams Bridgman Papers, Harvard University, Cambridge, Massachusetts. Bridgman'ın makalesi: "The New Vision of Science", *Harper's* 158, Mart 1929, s. 443-54.

Ardından en büyük kâbuslarını gerçeğe dönüştürüyor gibi görünen Eddington'un kitabı geldi. İnsanlar kuantum mekaniğinin Tanrı'nın varlığını ispatladığını ve mistik deneyimleri ve yeni gerçeklik anlayışlarını doğruladığını söyledi. Hayır, hayır, hayır, hayır! Kuantum teorisinin sonuçları rahatlatıcı ve moral verici değildi; tersine, gerçekliğin ne olduğu hakkındaki düşüncelerimizi sarstığı için son derece rahatsız ediciydi. İnsanların bunu anlaması gerektiğini şiddetle düşünüyordu.

Harper's dergisine "Sevgili editörler. Fizik bilimindeki son kesiflerin genel ve evrimsel sonuçları hakkında yazılmış bir yazıyı ekte dikkatinize sunuyorum" diye yazdı. Uzmanlık alanı hakkında özet bilgi verdikten sonra devam etti: "Bu yazıyı *Harper's* dergisinin popüler okuyucularının önüne koymayı özellikle istiyorum çünkü bu yeni keşiflerin sonuçlarının herkes için o denli önemli olduğuna inanıyorum ki, er ya da geç hepimiz bu yeniliklere ayak uydurmak için önemli ayarlamalar yapmak zorunda kalacağız." Yazısında Bridgman, kuantum teorisinin kısa süre sonra rölativite ve evrim teorilerinden ve hatta Newton'un çalışmalarından çok daha büyük bir kültürel etki meydana getireceğini yazdı. Daha henüz birkaç ay önce keşfedilmiş olan belirsizlik ilkesi sayesinde kuantum teorisi, bilinebilir olana bir sınır getirmişti. Bridgman bu durumun, baştan çıkmış kontrolsüz bir entelektüel fikir çılgınlığına neden olacağı tahmininde bulundu ve şöyle devam etti:

> Bu hayali sınır ötesi dünya, ki bilim insanları ona nüfuz etmenin imkânsız olduğunu kanıtladı, her mistiğin ve hayalperestin oyun bahçesi haline gelecek. Bu yer, şeyleri akla uygun hale getirme amacı için temel teşkil edecek. Ruhun malzemesi haline getirilecek ve içinde ölülerin ruhlarının ikametgâhı olacak. Tanrı onun gölgesinde gizlenecek, hayati süreçlerin hepsi burada kendine bir yer edinecek ve telepatik iletişimin ortamı yine burası olacak. Bir grup, fiziksel neden-sonuç kullarının başarısızlığını, asırların problemi olan özgür irade meselesine bir çözüm olarak görecek. Ve diğer yandan ateistler de, evreni tesadüflerin yönettiği yönündeki iddiaları için gerekçe olarak görecek.

Bridgman editöre "umarım derginize onarılamaz şekilde hasar vermiyorumdur" diye yazdı. Ancak gerçekte bu umurunda bile değildi. Meseleyi doğru yoluna sokmak istiyordu. Kuantum hakkında saçmalayanlar ne dediklerini bilmiyorlardı. Bu yeni fiziğin sonuçları o güne kadar duyduklarından çok daha tuhaf ve rahatsız ediciydi.

Harper's dergisinin yardımcı editörlerinden biri Bridgman'a yanıt verdi ve makalesini kabul etti. *Harper's* "Bilimin Yeni Versiyonu" yazısını Mart 1929'da yayınladı.

Bridgman yazının giriş kısmında "Bu makalenin savunduğu tez Newton döneminin artık bir sona geldiği tezidir. En son bilimsel keşifler, Newton'un evrensel kütle çekimi yasasını keşfine kıyasla doğaya bakış açımız için bundan çok daha büyük bir devrimi getirmektedir" diye yazdı. "Kuantum fiziği alanındaki bu keşifler, doğanın temel seviyede tamamen anlaşılabilir ve yasalara tabi olduğu yönündeki düşüncemizde yenildiğimizi göstermiştir" diye yazan Bridgman, "belirsizlik ilkesi, fiziksel bakış açımızda bugüne kadar iki kelimenin içine paketlenmiş en büyük değişimle doludur" diye ekledi. Bir elektronun konumunun ve momentumunun aynı anda ölçülmesinin imkânsız oluşunun, elektronların kendi operasyonalist felsefesine uygun şekilde konum ve momentuma sahip olmadığı anlamına geldiğini açıkladı. "Nihayetinde bir çeşit ölçme işlemi ile tarif edilemeyen bir fiziksel kavrama hiçbir anlam yüklenemez" diye yazdı. Daha açık bir ifadeyle şöyle devam etti:

> Bu paradoksu bir adım daha ileri götürmek için diyebiliriz ki; bir elektronun konumu ve hızını ölçüp ölçmemeye karar vermekle elektronun bir konumunun ve hızının var olup olmayacağını belirlemiş oluyorum. Elektronun fiziksel özellikleri mutlak anlamda onun kendi doğal özünde var olan şeyler değil fakat gözlemciyi de işin içine dahil eden özelliklerdir.

Bridgman "Bu ilke, büyük ihtimalle evrende farklı nesnelerin arasında cereyan eden bilinen bütün etkileşimleri yöneten bir ilkedir" diye ekledi. Bu gerçek, nedensellik ile ilgili düşüncelerimizi hiçe saydığı için son derece rahatsız edicidir. Atom fiziği, ister atomların ister elektronların seviyesinde bakıyor olsun, olayların, onlara hiçbir neden yükleyemeyecek şekilde gerçekleştiğini gösterir. Olaylara bir neden yüklenemeyeceği için de nedenselliğin bir manası kalmaz. Bridgman bunun nedeninin, şimdiki anın tam bir tarifi ile geleceğin belirlenmiş olmaması değil, fakat nesnelerin doğasında şimdiki anın tam olarak tarif edilemiyor olmasından kaynaklandığını söyledi. Bazı Alman fizikçiler dünyanın şans ile yönetildiği sonucuna varmıştır. Fakat bu doğru değil. Kuantum mekaniği atom altı dünyaya bir kesinlik ve bir kaçınılmazlık verir. Ancak bu, geleneksel anlamda olmayan bir kesinlik ve kaçınılmazlıktır.

Karşımıza çıkan etkiler şaşırtıcıdır. Fizikçiler alışageldikleri bölgenin sonuna eriştiler. Bugüne kadar her defasında doğanın daha derinlerine inerek daha ince ve hassas yapıları incelediler. Ancak gelinen noktada hayal bile edemeyeceğimiz olasılıklarla karşı karşıyayız:

> Bu nedenle fizikçiler kendilerini çivisi çıkmış bir dünyanın içinde bulurlar. Bu dünyanın daha derinlerine indikçe ondan uzaklaştıklarını görürler ve dünyanın manası yavaşça gözden kaybolur. Bu nedenle fizikçilerin merakları için bir sınır konulmuştur. Dünya, insan aklı ile anlaşılabilen mantıklı bir dünya değildir artık. Daha derinlere daldıkça, Tanrı'yı dahi riayet etmek zorunda bırakabileceğimizi düşündüğümüz formül olan neden-sonuç yasası anlamını yitirir. Dünya, doğal olarak mantıklı ve anlaşılabilir olmaktan çıkar. Anlaşılabilir olma özelliği, çok küçüklerin dünyasından günlük deneyimlerimizin ölçeğine giderek artan bir dereceyle çıktığımız zaman kendini göstermeye başlar. Pratik anlamda ancak bu ölçekte yeterli seviyede bir ulaşılabilirlikle karşılaşmayı umut edebiliriz. Bundan daha fazlasını değil. Dünyanın yapısının bu şekilde olduğu sonucu, koltuk meditasyonu seanslarında varılmış bir sonuç değildir. Fakat doğrudan deneylerin sonuçlarının yorumlanması ile elde edilmiştir.

Bridgman, Eddington'u kastederek fakat ismini anmadan "bazı insanlar gerçekten acele sonuçlara varıyorlar" dedi ve şöyle devam etti:

> Elektronlardan daha derinlere inmenin anlamsız olduğunu iddia eden ifadeleri reddederek, bunun ötesinde de incelenebilecek bir alanın var olduğu tezini ortaya koyabiliriz. Ancak insanoğlunun günümüzde sahip olduğu kısıtlı imkânlar bu alanı incelemeye uygun değildir. Bu nedenle sokaktaki insan, bilim insanlarının dünyaya anlam verme noktasında yolun sonuna geldiği şeklindeki ifadeyi çarpıtacak ve bilim insanlarının ellerinde var olan araçları kullanarak inebildiği kadar derine indiğini ancak bilinebilir olanın ötesinde halen bir şeylerin bulunduğu şeklinde bir ifadeye dönüştürecektir.

Nihayetinde bu erişilemeyen ötelerdeki hayali âlem mistiklerin ve hayalperestlerin oyun bahçesi haline gelecek ve hem ateistler hem de dindar inananlar için kendini rahatlama ve akla uygun hale getirme fırsatına dönüşecektir. Ancak Bridgman bir umut ışığı gördü. Günlük yaşamımızın kısıtlı koşulları için kullandığımız düşünce sistemimizi yeniden şekillendirmek için ihtiyaç duyduğumuz anlayışı bizlere sunacak yeni eğitim araçlarının eninde sonunda geliştirileceğini umut etmişti. Bu sayede nihai sonuç olumlu olacaktır:

> Düşünce realiteye uygun hale geleceği için dünyayı keşfetme ve anlama sürecimiz giderek artan bir hızla devam edecektir. Sonunda insan karakteri için de faydalı bir etkisi olacaktır. Ortalama insanlar buna karamsar bir tepki gösterecektir. Ancak bu gibi bir meseleyle yüzleşmek için cesur asillere ihtiyacımız var. Ve sonunda, insanoğlu bilgi ağacından payına düşeni tam olarak aldığında, ilk kovulduğu cennet ile sonuncusu arasında bir fark

> otaya çıkacak. İnsan bir çeşit tanrı olmayacak, ancak ilelebet mütevazı olarak kalacaktır.

Bridgman kehanetlerde bulunmuştu. İnsanlık halen mütevazı olma konusunda sıkıntılar yaşamaktadır. Ancak hayalperestler ve akla uygun hale getirmeler konusunda söylediklerinde haklıydı.

Bridgman'ın biyografi yazarı kendisi için "o bir bilimsel püritendi" diye yazmıştır. Kendisi için, yaşamının en uzak köşelerine kadar uzanan zahmetli prensipler belirlemişti. Ölümcül hastalığı olanlar için tıbbi yardımlı intihar hakkına inanırdı. İnsanların haysiyetleri olmaksızın yaşayamayacaklarını düşünürdü. Kansere yakalandığında yaşamını devam ettirebildiği kadar sürdürmeye çalıştı. Ardından 1961'de yaşamını sonlandırmak için kendine yardımcı olacak bir doktor aradı. Aradığını bulamayınca tek başına hareket etti. Tabancasını kafasına doğrultmadan birkaç dakika önce "Toplumun bir insana kendisine bunu yaptırması iyi bir şey değil. Büyük ihtimalle bugün, bunu tek başıma yapabileceğim son gün" diye yazdı.

Eddington ve Bridgman kuantum mekaniğinin ortaya koyduğu sonuçları birbirlerinden çok farklı şekillerde görmüştü. Eddington arabulucuydu. Gerçekleri kabul etme istemindeydi. Bridgman daha dikkatli biriydi. Bildiğinin ötesine geçmeye cüret etme konusunda çekimserdi. Eddington kuantum mekaniğin, geleneksel gerçeklik anlayışına kıyasla çok daha geniş bir gerçeklik anlayışına işaret ettiğini görmüşken, Bridgman ise daha dar bir anlayışa işaret ettiğini düşündü. Eddington kuantum mekaniğin sonuçlarını rahatlatıcı bulurken Bridgman ise rahatsız edici bulmuştur. Her biri gerçeğin farklı bir parçasını elinde bulunduruyordu.

Felsefeciler John Dewey ve Bertrand Russell gibi ağır sıklet entelektüeller ve Arthur Campton ve James Jeans (1930 - *Gizemli Evren*'in yazarı) gibi bilim insanları da bir süre sonra tartışmalara dahil oldu. Heisenberg'in belirsizlik ilkesi konusundaki ilk seminerini dinlemiş olan *New York Times* muhabiri Kaempffert, Eddington ve Bridgman arasındaki anlaşmazlıktan haberdar olmuştu ve sonuçlarını fark etmişti.[12] 1931'de *New York Times*'ta tam sayfa yayınlanan bir yazıda Eddington ve Bridgman'a atıfta bulunarak belirsizlik ilkesinin sonuçlarını hazmetmeye çalışmıştı. Sayfanın başında Einstein, Eddington, de Broglie, Schrödinger ve Heisenberg'in fotoğrafları vardı. Biraz altta James Jeans'in *Gizemli Evren* isimli kitabından iki resim vardı. Ana başlık ve alt başlık şöyleydi:

12 Waldemar Kaempffert, *The New York Times*, 11 Ocak 1931.

EVRENİ NASIL AÇIKLAYACAĞIZ? BİLİM BİR İKİLEMİN İÇİNDE
Bilim İnsanlarının Ortaya Attığı Teoriler Birbiri Ardına Patladı Ve Bilim, Şu Anki Belirsizliğin İçinde İdealist Olmaya Ve Mekanik Evren Düşüncesini Terk Etmeye Zorlandı.

Kaempffert, gerçeklik hakkında bildiğimizi zannettiğimiz şeyler bilgisizliğimize dayalıymış diye yazdı. Newtonsal alışkanlıklarımız kötü alışkanlıklarmış. Ölçüm sonuçlarının gözlemcinin tercihine bağlı olduğu gerçeği "felsefesi bir kelime oyunundan çok öte bir şey" diye devam etti. "Gerçekliğin ne olduğunu, evrenin, gördüğümüz ve hissettiğimiz nesnelerin ne olduğunu tarif etmeye çalışıyoruz. Bunların ne olduğunu, kendilerini meydana getiren parçacıklar olan elektronlar vasıtasıyla tarif etmek durumundayız. Ancak kendimizi şaşkına dönmüş halde bulduk. Bu nedenle bir atom hakkında ve dolayısıyla da atomlardan meydana gelen dünya hakkında hiçbir zaman kesin bilgi sahibi olamayız. Sadece ihtimaller hüküm sürer. Atomlar için nedensellik kavramı bir anlam ifade etmiyor." Ancak Kaempffert'in bu yazısı, Bridgman'ın korktuğu şeyin gazeteciliğe özgü ifadesiydi; "Çamur kadar bulanık olma."

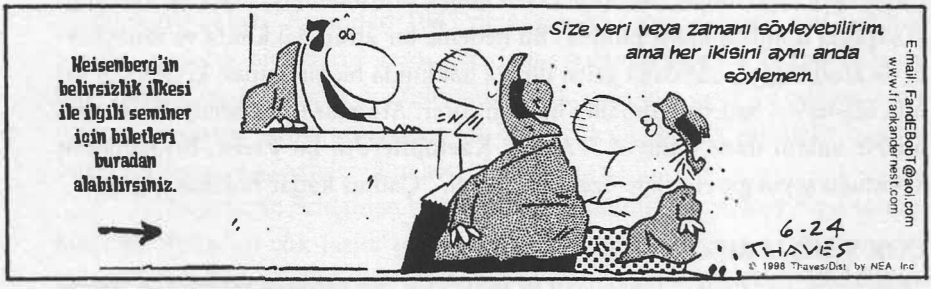
ÇOK ŞEKİLLİ MECAZLAR

"Kuantum sıçraması" ifadesi 1920'lerde pek çok değişik faktörden dolayı popüler bir mecaz haline geldi. Var olan kelimelerin yetersiz kalıyor olmasından dolayı yeni bir kelimeye duyulan ihtiyaç (süreksizliklerin geçtiği konularda), yaratıcı hatiplerin kendilerini daha hassas şekilde ifade etme isteği ve bilimsel terimlerin kültürel anlamda saygınlığı bu faktörden birkaçıdır. 1920'lerin sonlarında belirsizlik ilkesi de benzer bir yol izledi. Ancak çok şekilli mecazlar uygulamalar sayesinde daha hızlı ilerledi. Belirsizlik ilkesi fizik biliminde var olan teknik bir ilke bağlamında sadece eşlenik değişkenleri içeren belli ölçümlere uygulanır. Ancak sadece bir örnek dahi, bilim dışında bir mecaz olarak kullanılması için yeterli olmuştur. Bu örnekler içinde en yaygın ve önemli olan dördü kesin tespit edilemezlik, gözlemcinin etkisi, sanat ve beşeri bilimlerin özgürleşmesi ve Tanrı'nın varlığı tartışması olarak sayılabilir.

Kesin Tespit Edilemezlik

Belirsizlik ilkesi, dünyanın rastgele oluşu, mantıksız ve kontrol edilemez oluşu ile ilgili deneyimlerimizi onaylayan bir tablo ortaya koyar. 29 Ekim 1929'da borsada yaşanan çöküşün birkaç gün sonrasında *New York Times*, hisse fiyatları ile şirket kârları arasında normalde var olan ilişkinin aniden ortadan kalkmasına kısmi bir açıklama getirmek için Heisenberg'in belirsizlik

ilkesine atıfta bulundu ve şöyle yazdı: "Heisenberg neden-sonuç ilişkisinin artık çalışmıyor olduğunu ispat etmiştir."[13] 1936'da *New York Times* spor muhabiri John Kieran belirsizlik ilkesini, Bridgman'ın yorumuna uygun bir şekilde, beşinci sırada yer alan New York Giants takımının neden halen şansının olduğunu açıklamak için kullandı; "Bridgman'ın meleklerin bilardo toplarına vurması ile ilgili anlattığı da iyiydi fakat son altı haftadır Giant takımının beysbol toplarına vuruşu Heisenberg'in ilkesinin çok daha ikna edici bir gösterimiydi."[14] (Giants takımı o sene dünya serisine katılmayı başarmıştı anacak New York Yankees takımına yenilmişti). O günden sonra spor yazarları belirsizlik ilkesi kavramını hep kullanır oldu.



Frank & Ernest (Universal Uclick).

Başkaları, belirsizlik ilkesinin ortaya koyduğu kesin tespit edilemezliğin sosyal meseleler üzerinde çok daha derin etkilerinin olduğunu düşündü. Özellikle dindar düşünürler Eddington'un yorumlarına el koydular. Newton döneminin hüküm sürdüğü asırlar boyu bilim insanları dindar düşünürlere karşı özgür iradenin bir yenilgi olduğunu savundu. Ancak bu defa önde gelen bir bilim insanı (Eddington) bilimin özgür iradeye müsaade ettiğini söylemek suretiyle insanlığı ateistlerin savunduğu determinizm zulmünden kurtarıyordu. Dindar bir yorumcu, bir beysbol resmi kullanarak "kendi atış hakkımız var" diye yazmıştı. Eddington kılığında resmedilmiş Babe Ruth ise tur vuruşlarını yapmak üzere beysbol sopasını elinde tutuyordu.[15] Daha yakın zamanda Hıristiyan şair Christian Wiman, kanserle olan savaşını anlattığı yazısında "tesadüf karmaşası içinde şansın size isabet etmesi misali bizlere bitmeyen bir sevgi hissettirmesi, Tanrı'yı nihai belirsizlik ilkesi yapıyor" diye yazmıştı.[16]

13 "By-Products", *The New York Times*, 3 Kasım 1929, s. E4.

14 *The New York Times*, 5 Eylül 1936, s. 9.

15 Review of A. Eddington, "The Nature of the Physical World", *Union Seminary Review* 41, 1929, s. 77-78.

16 Christian Wiman, *My Bright Abyss* (New York: Farrar, Straus and Giroux, 2013), s. 17.

Gözlemci Etkisi

Gözlem eyleminin insan davranışını değiştirdiği, eski çağlardan beri dikkatli insanlar tarafından fark edilmiş bir gerçektir. Günümüzde psikologlar bu durumu tepki veya gözlemci etkisi olarak isimlendiriyor. Newton dünyasında da ölçüm işlemine tabi tutulan nesnelerin bu işlemin bozucu etkisine maruz kalacağı kabul edilen bir gerçekti. Ancak söz konusu bozucu etkiyi prensip olarak en aza indirmenin ve ölçümün hassasiyetini de en yüksek seviyeye çıkarmanın mümkün olduğu kabul ediliyordu. Bunun yanı sıra ölçümden kaynaklanacak bozucu etkiler önceden tahmin edilebilir ve bu sayede hesaba katılarak telafi edilebilirdi. Bu nedenle bilim insanları kendilerini ölçüm işleminin dışında tutabilirdi.

Kuantum dünyasında işler bundan daha karışıktır. Konum ve momentum gibi değişken çiftlerinden herhangi birini ne derece büyük bir hassasiyetle ölçeceğiniz diğerinde elde edebileceğiniz hassasiyetin derecesini etkiler. Kabaca bir ifade ile deneyi gerçekleştiren kişinin, üzerinde gözlem ve ölçüm yaptığı parçacığın durumunu bozarak onu "rahatsız" ettiğini söyleyebiliriz. Ancak bu ifade aslında yanlıştır çünkü parçacığın ölçüm işleminden önce halihazırda momentum ve konum bilgisine sahip olduğunu ve ölçüm işlemiyle bu değerlerin dürtüklendiğini ima eder. Oysa kuantum mekaniğinde ölçümden önce bir şeyin konum ve momentumu henüz tanımlı değildir. Ve bu şey her ne ise, momentum ve konuma sahip olmadığından ve bu özellikleri sadece deney ekipmanları ile temasa geldikten sonra kazandığından dolayı onu parçacık olarak tanımlamak sıra dışıdır. Ancak yine de bahsini ettiğimiz kaba tarif yaygın olarak kullanılmış, belirsizlik ilkesini erişilebilir kılmış ve onu günlük yaşamda pek çok yeni mecaz için müsait hale getirmiştir.

Bir şeyi gözlemek veya hakkında bilgi edinmek onu değiştirir fikri, bu karşılıklı olma kavramı hakkında üretilmiş pek çok karikatüre ilham olmuştur.[17] Bir şeyde ısrar ederseniz başka bir şeyi bozarsınız. x'i biliyorsanız y'yi bilemezsiniz. Espriler pek çok değişik yöne gidebilir. Halihazırda bildiğimiz bir şeyin bilimsel teyidi veya bildiğimiz bir şeyin abes bir uzantısı gibi şekiller alabilir.

17 Giriş bölümünde belirttiğimiz gibi başkan Obama'nın belirsizlik ilkesine atıfta bulunmasının ardında bu fikir yatar. (*Vanity Fair*, Ekim 2012, s. 210). "Ardından Obama, en deneyimsiz kişiler de dahil olmak üzere herkesin tek tek fikrini sordu. Obama, 'Burada biraz sıra dışı olan şey, masada olmayan kişilere de müracaat etmiş olmamdır. Çünkü henüz gerçekleşmemiş bir tartışmanın içine girmeye çalışıyordum' itirafında bulundu. Duymayı istemiş olduğu tartışma Libya'ya daha nüanslı bir müdahale konusuyla ilgiliydi. Bunu duymak istemiş olması beraberinde şu soruyu getirir: Meseleyi basitçe kendisi neden dile getirmemiştir? Obama 'Bunun nedeni Heisenberg ilkesidir' der. 'Soruyu soran kişinin ben olması cevabı değiştiriyor. Ayrıca karar-verici olmamı da muhafaza etmiş oluyorum.'"



Jeroen Vanstiphout (www.kartoen.be).

Belirsizlik ilkesinin gözlem eylemi konusunda ortaya koyduğu sonuçların bu eğlenceli ve hayali kullanımının yanı sıra gazetecilik, edebiyat ve tiyatro sanatının doğasına ilişkin kullanımlarını da bulabiliriz. Oyun yazarı ve İngiliz dili profesörü Jon Tuttle'ın "Bu Hikâyeyi Nasıl Anlarız: Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi ve Vietnam Savaşı Edebiyatı" isimli eserinde belirsizlik ilkesinin gazeteciler ve yazarlar tarafından yaygın şekilde ele alınmış olduğuna vurgu yapmıştır. Bunun nedeni olarak söz konusu ilkenin, "bir olayın gözlenmesi o olayın doğasını değiştirir" şeklindeki sosyal sonucunu göstermiştir. Tuttle, burada iki sebep vardır der. Birincisi, "gözlenen olay, anında gözlemciye göre göreceli hale gelir." İkincisi; "gözlendiklerinin farkında olan insanların davranışlarını gözlemek onların davranışlarını değiştirmelerine neden olur." Gazeteciler nihayetinde profesyonel irdeleyicilerdir. Tuttle şöyle devam eder:

> Arthur Miller'in *Başpiskoposun Tavanı* ve Tom Soppard'in *Tesadüfen İyi* isimli eserleri belirsizlik ilkesini dramatize eder. Tiyatro izleyicisine hatalı gözleme karşı kendilerinde var olan duyarlılığı gösterir ve bu şekilde gördüklerini zannettikleri hayallerin farkında olmayan izleyicileri olduklarını ifade eder. Bir başyazısında George Will, jüri davalarının televizyonda gösterilmesine karşı bir iddia olarak belirsizlik ilkesine atıfta bulunur. Anna Quindlen ise bu ilkeyi, kameralar çalışmaya başladığı anda gerçek olmaktan çıkan televizyondaki realite programlarına uygular. Michael Herr benzer bir problemi Vietnam'da askerlerin cesetlerini daha fotojenik görünümlerini sağlamak için konumlandırmaya çalıştıklarında fark etti. Öbür yandan gazetecilerin orada bulunmasının askerlerin cesaretlerini arttırdığını ve çoğu zaman trajik şekilde sonuçlanan en korkunç çatışmaların sözünü verdiğini görmüştür.[18]

18 Jon Tuttle, "How You Get That Story: Heisenberg's Uncertainty Principle and the Literature of the Vietnam War", *Journal of Popular Culture* 38, 2005, s. 1088-98.

Bunların yanı sıra bir diğer ciddi örneği edebiyat eleştirmeni George Steiner'in, yorumlanan konuyu dönüştürerek onun bir sonraki nesle farklı şekilde aktarılmasını sağlayan edebiyat eleştiri surecini tanımlamak için belirsizlik ilkesini kullanmasında görüyoruz. "Belirsizlik ve tamamlayıcılık diye bilinen iki ilke, parçacık fiziğinde ifade edildiği gibi, bütün yorumlama süreçlerinin ve sanat ve edebiyattaki bütün ifade süreçlerinin merkezinde yer alır."[19]

Sanat ve Beşeri Bilimlerin Özgürleşmesi

Newton döneminde savunmada kalmak durumunda olduğunu hissetmiş dindar düşünürler kadar sanat ve beşeri bilimleri pratik edenler de aynı şeyi hissetmiştir. Onlara göre belirsizlik ilkesinin ölçüm ve bilgi edinmeye getirdiği limit özgürleştirici bir faktör olarak görülmeliydi. Eddington'un *Fiziksel Dünyanın Doğası* isimli kitabının devamı olan *Bilimde Yeni Yollar* isimli kitabını inceleyen J.W.N. Sullivan, herkesin hissettiği rahatlamayı şöyle dile getirmişti:

> Birkaç inatçı dışında bilimin ortaya çıkardığı bu yeni tevazu herkesçe hoş karşılanmıştır. Mistiklerin ve sanatçıların sırf savunma amacıyla bilimin ortaya koyduğu tabloyu görmemezlikten gelmesine artık gerek kalmadı. Bilim, sahip olduğu bilginin özel bir şekilde kısıtlanmış bir bilgi olduğunu anlamıştır. Gerçeğin bilgisine sahip olma noktasında özel bir iddiası kalmamıştır. Geçerliliği olan, ancak bilimsel metotlar ile bugüne kadar erişilememiş ve bundan sonra da erişilemeyecek bilgilerin de var olabileceği itiraf edilmiştir.[20]

Belirsizlik ilkesi, bilimin gerçeğe ulaşma yönünde ayrıcalıklı bir bakış açısına sahip olmadığı mesajını veriyor gibiydi. Bu sayede sanat ve beşeri bilimlerdeki yaratıcılığın değeri artıyordu.[21] Avusturya kökenli Meksikalı sanatçı Wolfgang Paalen'in heyecanını şu sözlerinde duymak mümkün:

---

19 George Steiner, *Real Presences*, University of Chicago Press, Chicago, 1989. *Joyce's Uncertainty Principle* eserinde Phillip Herring, belirsizlik ilkesinin anlamını onu sözel olarak tanımlamak şeklinde değil fakat onu kısıtlamak seklinde ele almıştır.

20 J.W.N. Sullivan, "Science and Philosophy: Sir Arthur Eddington's New Book", *The Observer*, 3 Mart 1935, s. 4.

21 Beşeri bilimlerle ilgilenen diğerleri de belirsizlik ilkesini özgürleştirici bir unsur olarak görmüştür. Bu ilke sanatın, değerlerin ve manevi meselelerin çekinmeden veya savunuculuğunu yapmadan tartışılabileceğini göstermiştir. *Observer* gazetesinin köşe yazarı A. Wolf 1929'da "The New Outlook in Physical Science/ Universal Mechanism Abandoned/End of an Old Nightmare" başlıklı bir yazı dizisinde "Bu birinci dereceden öneme sahiptir" diye yazmıştır. Ekonomistlerin, akademisyenlerin ve gerçekçilerin idollerinin yıkıldığını görmekle ve hatalı bir mekaniği taklit etmekle bilimleri deterministik yapmaya çalışmanın uygunsuzluğunu göstermekle beraber bu ilke idealleri takip etme konusunda dünyaya özgürlük vermelidir." (*The Observer*, 3 Şubat 1929, s. 17).

> Günümüzde bilimin içinden geçtiği başlıca kriz yeni bir düzenin geleceği kehanetini belki haklı çıkarıyor. Bu düzende bilim, şiirden daha mutlak bir gerçekliğe sahipmiş gibi görülemeyecek artık. Bilim, kendini tamamlayıcı bir öğe olarak sanatın değerini daha iyi anlayacak. Bir başka deyişle, eğer mümkün olan en yüksek gözlem hassasiyeti ile deneyimlenen nesneler ve deneyimdeki cihazlar arasında mükemmel bir ayırım yapmak belirsiz hale geliyorsa, fiziğin bizlere tamamen nicel ve tatmin edici bir gerçeklik yorumu sunabileceği iddiasından vazgeçme noktasına gelmiş olduğunu söyleme hakkına sahip değil miyiz?[22]

Fakat Alman filozof Martin Heidegger, bu gibi ifadeleri saçma ve hatta tehlikeli bulmuştur. Ona göre sanat ve beşeri bilimlerin özel bir savunma yapmaya ihtiyacı yoktu. Heidegger, "Bizler bugün, bütün ciddiyetiyle, atom fiziğinin ortaya koyduğu sonuçları ve bakış açısını fark etmekle insanın özgür iradesini ve yeni bir değer teorisini ortaya koyabileceğimiz iddiası, teknolojik düşüncelerin insanın öz farkındalığına getirdiği zararlı bir idrakin işaretidir. Özgür iradenin doğasının tamamen yanlış anlaşılmasıdır" diye yazdı.[23]

Tanrı'nın Varlığı

Bazı insanlar daha da ileri giderek belirsizlik prensibinin Tanrı'nın varlığı konusunda da sonuçlar ortaya koyduğunu iddia etmiştir. Bu kişilerin arasında Campton etkisini keşfeden kişi olan fizikçi Arthur Holly Campton da vardı. Campton, belirsizlik ilkesinin aklın madde üzerinde etkisinin olma olasılığını ima ettiğini ve insan aklına evrende yeni bir rol verdiğini söylemiştir.[24] Belirsizlik ilkesi, insan ötesi bir Bilge'nin olması gerektiğini mi söyler? Campton "evet" diye cevap vermiştir. Kuantum mekaniğin, evrenin işlerini yöneten en yüce bir varlığa işaret ettiğini ve insanın evrendeki en yüksek aklı temsil ettiğini söylemiştir. Campton, "atomların hayret verici dünyasının varlığının maksatlı bir yaradılışa işaret ettiğine, Tanrı'nın var olduğu ve her şeyin gerisinde akıllı bir maksadın yattığı düşüncesine işaret ettiğine inanıyorum" demiştir.[25]

Dini yazarlar mest olmuştu. *Methodist Reviewer* dergisi "Nobel ödülü sahibi Campton ve kuantum teorisinin kurucularından biri olan Heisenberg gibi fizikçiler tarafından savunulan yeni fizik ile dönüşüme uğramış olan bi-

22 Wolfgang Paalen, "Art and Science", DYN 3, Güz 1942, s. 8.

23 Martin Heidegger, "What Are Poets For?", *Poetry, Language, Thought* içinde, çev. Albert Hofstadter, Harper & Row, New York, 1971, s. 112.

24 *The New York Times*, 25 Mayıs 1930, s. 25.

25 *The New York Times*, 27 Mart 1931, s. 27.

lim, mutlak tesadüf ile işleyen bir mekanizma olarak görülen evrim düşüncesine yeniden şekil vermiştir. Bu süreç, yöneldiği belli bir amacı olan ve gözle görünmeyen bir zatın yaratma metoduna dönüştürmüştür" diye yazdı.[26] *Christian Science Monitor* dergisinde yayınlanan "Evrenin Yeni Teorisinin Doğanın Ardına Akıllı Bir Maksat Koyduğu Söyleniyor" başlıklı bir yazıda, "Evrenin belirsizlik prensibinin keşfi, insanların sadece otomatik varlıklar olduğunu iddia eden teorileri geçersiz kılmış ve Nobel fizik ödülü sahibi Dr. Arthur Campton'a göre yön verici bir aklın varlığına dair doğrudan delil sunmuştur" diye yazdı.[27]

1929'da *Methodist Reviewer*, kuantum fiziğinin dini inanışlar üzerindeki etkileri konusunda pek çok makale yayınladı. Dergi, Eddington'un yeni bir bilimin gelmekte olduğunu haber verdiğini söyledi. Bu yeni epistemolojide, bilim ve din arasında bir çelişkiye artık asla izin verilemezdi. Kuantum bakış açısı, onun ustalarını herhangi bir maneviyatçı mistik kadar hayalci yapıyordu. Günümüzde bilim, görünüşe göre su geçirmez fikir bölmelerine sahiptir ancak din, bütün düşünce, his ve irade dünyasını doldurmak zorundadır. Günümüzün kuantum fiziği doğaya ait öylesine belirsiz bir bakış açısı ortaya koyuyor ki onu doğa ötesi diye rahatlıkla isimlendirebiliriz. Dergi, Heisenberg'in, yaşayan bilim insanları içinde metafiziği ve dini en çok etkilemiş kişi olabileceğini yazdı. "Fiziksel dünya hakkında yeni bir bakış açısı ile tanışıyoruz. Bu bakış açısı bilimi, Hıristiyanlığın varlığını sürdürdüğü mükemmel özgürlük âlemi ile ve Tanrı'nın krallığı ile daha yakın bir uyum içine getirmektedir" diye yazdı.[28]

Diğerleri ise kuantum mekaniğinin dini otoriteler ve diğer sosyal gelişim düşmanları tarafından yapılan bu yanlış yorumlarından dehşete düşmüşlerdi. Afrika kökenli Amerikalı radikal işçi sendikacısı Ernest Rice McKinney, Eddington hakkında şöyle dedi: "Belirsizlik ilkesine el atmakla din adamlarına büyük bir takviye verdi. Nedensellik ve determinizm doktrininin gözünü morarttı ve bu dincilere özgür irade düşüncesini eski haline döndürmek için fırsat verdi." Bir Marksist ve ateist olan McKinney, Jeans'in söylemini beğenmişti. Jeans Tanrı'dan bir mimar olarak söz ediyordu ancak en azından onu bir matematikçi olarak da tarif ediyordu. "Kıdemli bir general, bir şirket başkanı, büyük bilge ve bir mühendis ya da teolog olan Tanrı'ya

26 "Religion", *The Methodist Review* 46, No. 5, Eylül 1930, s. 740.

27 *The Christian Science Monitor*, 30 Mart 1931, s. 5.

28 *The Mediodirt Review* 45, No. 4, Temmuz 1929, s. 580; *The Methodist Review* dergisinin alıntılarının büyük bölümü Eddington'un kitabındandır.

kıyasla mutlak anlamda bir matematikçi olan bir Tanrı'yı tercih ederim" demiştir.[29]

Heisenberg belirsizlik ilkesini insanların dünyasına getirmemiştir. İnsanlık da bu ilkeyi yaşamlarında görme ihtiyacı içinde olmamıştır. Ancak bu ilke, gerçeklik hakkında bazı Newtonsal kabullerin doğru olmadığını göstermiştir. Kuantumun yazarlar, sanatçılar ve felsefeciler üzerindeki etkisi, bu doğru olmayan Newtonsal yanlış anlamalardan kurtulmada onlara yardımcı olma şeklinde olmuştur. Örneğin belirsizlik ilkesinin keşfinden bir ya da iki yıl sonra 1927'de yazar ve şair D.H. Lawrence aşağıdaki eleştirel şiiri kaleme aldı:

> Kuantum ve rölativite teorilerini seviyorum
> Çünkü onları anlamıyorum
> Uzayın, yerinde duramayan bir kuğu gibi yer değiştirdiğini hissettirdi bana
> Hareketsiz durmayı ve ölçülmeyi kabul etmeyen
> Ve atomun ise takıntılı bir şey olduğunu
> Sürekli fikrini değiştiren bir şey olduğunu hissettirdi bana.[30]

Gördüğümüz üzere belirsizlik ilkesi, sadece belirli değişken çiftlerinin aynı anda ölçülemeyeceğini söyler. Bunun yanı sıra atomu dürtüklemek yerine aksine onun sabitliğinden sorumludur. Yukarıdaki şiir, kuantum teorilerinin Lawrence'ın dünya anlayışını Newton teorilerine kıyasla daha iyi şekilde ifade ettiği gerçeğini ortaya koymaktadır. Lawrence, kendini deterministik anlayıştan kurtulmuş şekilde özgür hissetmekte, belirsizliği kabul edilebilir görmektedir. Kuantum dünyası ona tuhaf gelmemektedir çünkü sezgileri ona, dünyanın Newton'un ifade ettiğinden daha tuhaf bir yer olduğunu söylemektedir.

Lawrence'ın şiirinde gördüğümüz şakacı negatif ifadeler bahsini ettiği teorilere karşı hissettiği cazibenin yüzeysel olduğunu ima etmektedir. Kuantum ve rölativite teorilerini seviyor çünkü onlar kendisinin dünyaya dair hayalperest ve ölçülemez deneyimleri ile daha iyi uyuşmaktadır. Newton dünyasında baskı altına alınmış düşünceler kuantum dünyasında kendine yer bulabiliyor. Daha önce gördüğümüz gibi 1942'de Paalen, bilimin şiirden daha mutlak bir gerçekliğe sahipmiş gibi görülemeyeceği yeni bir düzenin kuantum mekaniği tarafından müjdelendiğini yazmak suretiyle benzer bir görüş ortaya koymuştu. Bunun neticesinde beşeri bilimlerin değeri onaylanmış

29 Ernest Rice McKinney, *The Pittsburgh Courier*, 12 Aralık 1931, s. 12.
30 Quoted in Lindley, *Uncertainty*, s. 185.

olacak ve bilim, kendini tamamlayıcı bir öğe olarak sanatın değerini daha iyi anlayacaktı.[31]

1958'de New York Üniversitesi'nden felsefeci William Barrett (1913-1992), belirsizlik prensibinin olayların fiziksel durumları hakkında bilebileceklerimiz ve öngörebileceklerimiz için zorunlu bir limit getirdiğini ve temelde mantıksız ve kaotik olması muhtemel bir doğaya ait kapıları bize açtığını yazdı. Erişebileceğimiz bilginin limitli olması, doğanın temelde gerçekten böyle olup olmadığını asla bilemeyeceğimiz anlamına gelmeliydi. Bu yeni keşif, gerçekliğin en derinlemesine kadar öngörülebilir olduğu ön yargısıyla motive olmuş fizikçilerin bu eski rüyasının artık bir sona geldiğine işaret etmekteydi.[32] Barrett, modern bilimden birkaç örnek daha verdikten sonra şöyle devam eder: "Bu farklı tarihsel gelişim süreçlerinden ortaya insana dair sade, yalın ve şüpheli bir boyutu ihtiva eden yeni bir tablo çıkmaktadır."[33] Sadece varoluşçu felsefe değil fakat bilimin bizzat kendisi dahi insanı, kendi yalnız ve temelsiz durumu ile yüzleşmeye zorlamıştır.

Bu ifadeler, hümanistlerin kuantum mekaniğini kabullenmesinin nedeni olarak Newton'un dünyasının soğuk ve kısıtlayıcı bir yer şeklinde deneyimlenmiş olmasını gösterir. Bu dünyada kendilerini savunmada kalmak zorunda hissetmiş ve dışlanmış olarak görmüşlerdir. Bu nedenle kuantumun tuhaflıkları onlar için bir rahatlama getirmiştir. Ancak hümanistlerin kuantum dünyasını özgürleştirici olarak görmesinin tek nedeni bu ise, bu onların kendi ellerinden çıkmış bir nedendi aslında. Deneyimlere anlam verme noktasında bilime haddinden fazla güveniyorlardı. Hatta Barrett'in ifadeleri, belirsizlik ilkesinin bu konuda trajik bir hava yarattığını ortaya koyar. *Oedipus Rex* romanında geçen kahramanın kaderini kontrol etme arzusu her defasında amansız bir şekilde arzu ettiğinin zıddını karışısına çıkarır. Atom altı dünyada ise insanların, yüksek hassasiyetli ölçümler yapmak suretiyle daha fazlasını bilme arzusu da yine amansız bir şekilde karşılarına belirsizlik çıkarmaktadır. Bu durum felsefi anlamda şok edicidir.

Sloven felsefeci Slavoj Žižek, belirsizlik prensibinin felsefi sonuçlarını ortaya çıkarmak için çok çabalamıştır. Žižek, belirsizliğin gözlemciye veya ölçüm cihazlarına ait teknik kısıtlamalarla alakalı olmadığını fark etmiştir. Belirsizliğin, nesnelerin doğrudan kendilerinde var olan bir gerçeklik oldu-

31 Paalen, "Art and Science", s. 8.

32 William Barrett, *Irrational Mani A Study in Existential Philosophy*, Doubleday Anchor, New York, 1958, s. 38.

33 Barrett, *Irrational Man*, s. 40.

ğunu görmüştür. Örneğin bir elektronun varlığı, kendini parçacık veya dalga şeklinde gösterebilmektedir ancak her ikisini aynı anda göstermemektedir. Žižek bu durumu, bir nesnenin basitçe hangi yasalara riayet etmek zorunda olduğunu bilemediği ontolojik bir aldatmaca olarak tanımlar. Salt potansiyelden ibaret şüpheli bir sözde varlık halinin kapıları açılmış olur. Žižek, ardından kuantum etkileşimlerinden deterministik klasik fizik yasalarının doğuşunu ve insan eylemlerinden sembolik düzenlerin doğuşunu karşılaştırarak devam eder.[34]

Ancak bilimsel anlamda belirsizlik ilkesi yeni bir şafak gibiydi. Dördüncü Bölüm'de ele aldığımız kuantum teorisindeki rastgeleliğin nedeni dahil olmak üzere pek olaya izah getirdi. Olasılık dalgasının zaman içindeki değişiminde herhangi bir belirsizlik yoktur. Bu dalganın yayılmasının nedeni dalga paketinin ihtiva ettiği konum ve momentum arasında belirsizliğin olmasıdır. Bu nedenle de momentumlar ve hızlar ile bir yayılma hareketi meydana gelir. Ancak dalga paketinin kendisi halen tamamıyla tanımlıdır ve herhangi bir belirsizlik içermeden zaman içinde yayılmaya devam eder. Rastgelelik, dalganın kendisinden dolayı değil, bir parçacığı tespit etmedeki olasılıkları tanımladığından dolayı ortaya çıkar. Eğer bu belirsizlik olmasaydı rastgelelik de söz konusu olmazdı.

Belirsizlik ilkesine verilen isim akla bir çeşit esneklik getiriyor olsa da aslında bunun tersi doğrudur. Kuantum fiziğinde, klasik fiziğin hiçbir zaman sahip olamayacağı bir katılık ve bir katiyet vardır. Klasik fiziğe göre hidrojen atomundaki protonun etrafında dönen elektron ışıma yapmak suretiyle enerji kaybedecek ve nihayetinde merkezde yer alan protona düşecektir. Ancak kuantum mekaniğinde bir elektron, merkezdeki bu sınırlanmış bölgeye düşmek için devasa bir kinetik enerjiye sahip olmak zorundadır. Bu gerçek ise elektronun orada uzun süre kalamayacağı anlamına geleceği için hidrojen atomunun neden kendi içine çökmediğini izah eder. Çekirdek daha fazla elektrik yükü bulunduran ve yörüngelerde daha fazla elektrona sahip olan büyük atomlar için belirsizlik ilkesindeki enerji Pauli'nin dışlama ilkesi ile takviye edilir ve bu sayede büyük atomlar da kendi içine çökemez. Bunun yerine belli atom numaralarına karşı her zaman belli enerji seviyelerine sahiptirler. Eğer sıcaklığı düşürüp, yeterli basınç altında bu atomlardan yeterince büyük miktarda bir araya getirirsek son derece sert ve katı bir form edinirler. Bu nedenle konum ve momentum arasında var olan belirsizlik atomların yapısındaki

34 Slavoj Žižek, The *Indivisible Remainder. An Essay on Schelling and Related Matters*, Verso, New York, 1996, s. 226.

belirliliğe yol açmaktadır. Bu sayede belirsizlik prensibi, maddedeki katılığı ve sertliği de izah etmektedir.

1933'te, önceki yılın Nobel ödülleri açıklandı. 1932 yılının kazananı Heisenberg idi (henüz 32 yaşına girmemişti). Schrödinger ve Dirac ise 1933'ün ödülünü paylaştılar. Aralık 1933'te üçü birden İsveç Akademisi'nde aynı platform üzerinde yan yana durdular. Heisenberg'in ödülünün bir yıl gecikmeli verilmesi sayesinde yeni fiziksel dünyanın bu üç mimarı yan yanaydı.

BELİRSİZLİK İLKESİ

Belirsizlik prensibi tarihte ilke defa Heisenberg ve Pauli arasında yazılmış mektuplarda kendini gösterir. 1926 sonbaharında Heisenberg, konum ve momentum gibi klasik fizikteki kavramların kuantum dünyasında geçersiz olduğu konusunda Pauli'ye ısrarlı olduğunu ifade etti. Ardından Pascual Jordan onlara katıldı ve çok sayıda dahice fikir deneyi ortaya attı. Bir mikroskobu mutlak sıfır noktasına kadar dondurursak ne olur sorusunu sordu. Bu durumda Pauli ve Heisenberg'in ölçülemez olduğunu iddia ettikleri özellikler tespit edilebilir hale gelmeliydi. Jordan'ın bu sorusu Heisenberg'i düşündürdü. Bohr ile sohbet etmek genelde düşüncelerini toplamasına yardımcı oluyordu. Bu amaçla Şubat 1927'de Kopenhag'a gitti. Ancak bu defa sohbet bir sonuca varamadı. Konuşmanın sonunda ikili birbirine sinirlendi ve Bohr, Heisenberg'i Kopenhag'da yalnız bırakarak kayak yapmak üzere ayrıldı. Bir gece Bohr'un enstitüsünün arka tarafında yer alan parkta tek başına dolaşırken Heisenberg olası bir cevabın genel hatlarını görmeye başladı. Hemen Pauli'ye bir mektup yazmak için oturdu:

> Bütün düşünce deneylerinin bu aynı özelliğe sahip olduğunu görmek mümkün: Eğer p ile ifade edilen bir değer p_1 hata payı ile karakterize edilen bir hassasiyet ile tespit edilmek istenirse, bu durumda ... aynı anda q ile ifade edilen bir değer $q_1 \approx h/2\pi p_1$ ile karakterize edilen bir hassasiyet ile tespit edilebilir.[35]

Bu ifade belirsizlik ilkesinin matematiksel ifadesidir. $E=mc^2$ ve Maxwell denklemleri dahil olmak üzere pek çok denklem gibi ilk ortaya çıktığı formu bugünkü bilinen formu değildir. Günümüzde belirsizlik ilkesi $\Delta p \Delta q \geq \hbar/2$ formunda gösterilir (denklemin sağında yer alan ve $h/2\pi$'ye karşılık gelen $\hbar$ terimi Dirac tarafından ortaya atılmıştır ve pek çok uygulamada basitleştirme sağlamaktadır). Heisenberg bu düşünceden heyecan duymuş ve "Kuantum Teorik Kinematiğin ve Mekaniğin Görselleştirilebilir İçeriği" başlıklı bir makale kaleme almıştır. Makale, sonuca varmak için klasik kavramalara ve terimlere dayanıyor olmasıyla dikkat çekicidir. Bu durum, indeterminizmin fizikte oynadığı büyük rol olmaksızın düşünülemezdi. Makale, rölativiteyi bir model olarak kullanmak suretiyle mantığa ters düşen sonuçları makul göstermeye çalışmıştır.[36] Dönüşünün ardından Bohr, hatalara işaret ederek makale hakkındaki memnuniyetsizliğini dile getirdi. Ancak Heisenberg yine de devam etti ve makalesinin az bir miktar revize edilmiş versiyonunu yayınladı.

Geriye baktığımızda belirsizlik ilkesinin $pq - qp = Ih/2\pi i$ şeklinde yazılan bu gizemli denklem tarafından ima edilmiş olduğunu görürüz. Hatta Planck'ın faz uzayını kuantize etmesinde de (Planck'ın yeni fiziğe yaptığı üç büyük katkıdan ikincisi) kapalı bir ima vardır. Ancak bu keşifler Heisenberg, Born, Pauli ve Jordan'ın bir değişkenin tam olarak

35 W. Heisenberg to W. Pauli, A. Hermann vd. (der.), *Wissenschafflicher Briefwechsel*, 23 Şubat 1927, s. 377-78.

36 Örnek için bkz. "Irreversibility and Indeterminism."

belirlendiği ve diğerinin ise belirsiz hale geldiği örnekleri tartışmaya başladığı zamana kadar halen kavramsal keşifler olarak görülüyordu. Nihayetinde Heisenberg bu örneklerin mümkün olan olasılıklardan sadece ikisine karşılık geldiğini ve bu ikisinin arasında da olasılıkların olduğunu göstermişti.

Bunun ötesinde belirsizlik ilkesinin mikro dünyaya ait bütün özelliklere uygulanamayacağını da söylemek gerekir. Örneğin kütle ve elektrik yükü mükemmel şekilde tanımlanabilen kesin değerlere sahiptir. Belirsizlik, sadece belli değişken çiftlerine uygulanır. Bu çiftlere konjuge değişken çiftleri denir. Belirsizlik ilkesi bu çiftlerin görselleştirilebilirliğini bir noktaya kadar yeniden tesis ederken bunun bedeli olarak da belirsizliği getirir. Söz konusu değişkenlerin değerlerindeki belirsizliğin sınırı yukarıda gösterdiğimiz matematiksel formüle riayet eder. Heisenberg, belirsizlik ilkesinin atom fiziğinin ötesinde daha geniş etkisinin olduğunu biliyordu. Bu ilke, gerçekliğin doğasına yönelik yanıcı yan etkileri beraberinde getiriyordu. Algılanan istatistik dünyanın ardında nedensellik yasalarının halen geçerli olduğu gizlenmiş bir dünyanın var olduğu düşüncesine kapılmak mümkündü. Ancak Heisenberg "bu gibi spekülasyonların bizim açımızdan sonuçsuz ve anlamsız olduğunu vurgulamak isteriz" diye yazmıştı.[37]

Felsefecilerin tabiriyle ilkedeki belirsizlik, sadece doğa hakkında ne bildiğimizle alakalı epistemolojik bir mesele değildi. Fakat doğanın doğrudan kendisiyle alakalı ontolojik bir meseleydi. Pais'in söylediği gibi "belirsizlik ilkesi" ismi bu nedenle yanlış bir seçimdi. Çünkü mesele "neyi bilmiyorum" meselesi değil, fakat "neyi bilemem" meselesiydi. Ancak Pais bu ismi değiştirmek için artık çok geç olduğunu da eklemişti.[38]

Heisenberg, makalesini gönderdikten sonra Jordan'a yazarak ayakları altındaki süreksiz zemini hissetmekten heyecan duyduğunu ifade etti. Pauli Heisenberg'in ayrıca "Morganröte einer Neuzeit" – yani yeni bir dönemin başlangıcı ifadesini kullandığını anımsadığını da söyler.[39]

37 Brush, "Irreversibility and Indeterminism", s. 626.

38 Pais, *Inward Bound*, s. 262.

39 Interview, W. Heisenberg, "Archives for the History of Quantum Physics", *The American Institute of Physics*, College Park, Maryland, 25 Şubat 1963, s. 17.

SEKİZİNCİ BÖLÜM

Kırılmış Gerçeklik: Kübizm ve Tamamlayıcılık

Meyvelüperi kelimesi, *New Scientist* dergisinin, bilimsel terimlerin sırf gösteriş amaçlı olarak hatalı şekilde kullanılması eylemini belirtmek için icat ettiği bir terimdir. Bu terimin tuhaf bir kökeni vardır. Meyvelüperi, 1966'da Kellog's firması tarafından piyasaya sürülmüş, parlak renkli, meyve aromalı ve halka şeklinde yapılmış bir mısır gevreği türünün ismi olarak kullanılmıştı. Hatta bu terim bir süreliğine erkek eşcinselleri veya onların yaşadıkları mahalleleri kasteden bir argo terimi olarak da kullanılmıştı. Ancak söz konusu terimin anlamı zamanla değişmiş ve basit, hafife alınır olan veya gösteriş için olan anlamları yüklenmiştir.

New Scientist dergisi için serbest yazarlık yapan Mike Holderness 2005 yılında profesyonel muhalifler konulu bir yazı yazdı. Bu yazısında gazetecilerin hikâyeleri her zaman birbirine muhalif iki taraf meydana getirecek şekilde bölmelerine değindi. Söz konusu muhalif taraflardan biri gerçeklik tabanlı iken diğer taraf ise meyvelüperlerinden meydana geliyordu. Konuşma dilinin böyle bir terime ihtiyacı vardı ve Holderness'in bu seçimi ilham vericiydi. Meyvelüperi kelimesi nihayetinde *New Scientist* dergisinin bilimi gerçek manasının dışında sadece reklam amaçlı kullanımını tarif etmek için kullandığı standart bir terim haline geldi. Bu terim ile sıfatlanmayı hak eden kelimeler arasında kuanta, takyonlar, titreşim enerjisi ifadeleri ve bu ifadelerin kombinasyonları sayılabilir. Okulda verdiğimiz derste bu terimin manasını biraz daha genişletiyoruz ve onu bilimsel terimlerin sadece reklam amaçlı hatalı kullanımlarına değil, bunun yanı sıra sözde-bilim ve amatör felsefe gibi alanlardaki hatalı kullanımlarına da uyguluyoruz.

Fizik, kültürel prestijinden dolayı diğer alanlara kıyasla çok daha fazla meyvelüperine ilham olan bir alandır. Eğer bir şarlatansanız ve reklamını yapmaya çalıştığınız şeyi fizikle ilişkilendirmeye çalışıyorsanız, bu şeyin derin ve güvenli olduğunu ima etmiş oluyorsunuz. Satış için iyi bir strateji! Neticede ortada düzeltilmesi gereken bir hata yoktur. Çünkü şarlatanlar hata yapmaz, fakat para yapar. Sadece meyvelüperleri hata yapar.

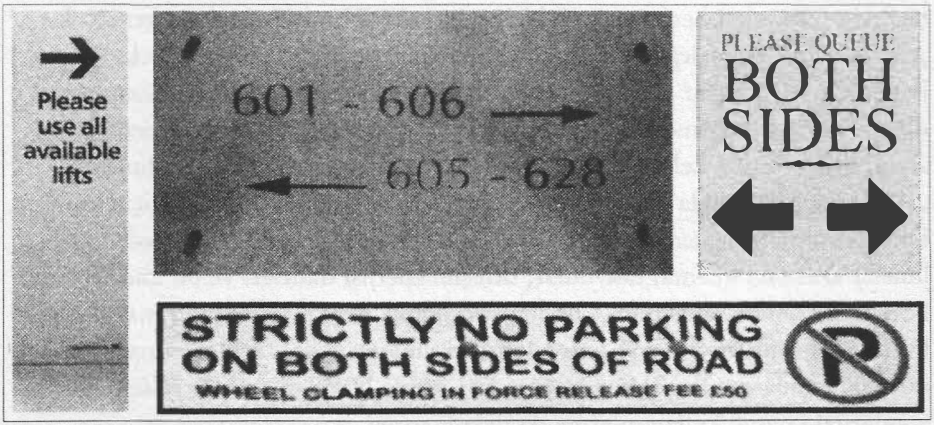
Fiziğin içinde ise özellikle kuantum fiziği diğer alanlara kıyasla daha fazla meyvelüperi üretir. Peki o halde meyvelüperi şeklindeki bir kullanım ile anlamlı bir kullanımı nasıl ayırt edebiliriz? Bunu yapmak göründüğünden daha zordur. Şu ana kadar değindiğimiz bazı kuantum mecazları (örneğin Updike'in mecazları) teknik olarak sağlam olmasalar da yine de anlamlıdırlar.

Bu nedenle kuantum kavramlarının bilinçli şekilde mizahi kullanımı meyvelüperi değildir.



xkcd.com

Bu örnekte olduğu gibi terimlerin esnek kullanımına keşfedilmiş kuantum mizahı diyebiliriz.



Çeşitli bina ve yol kenarı işaretleri keşfedilmiş kuantum mizahına örnek teşkil eder. Solda: Lütfen uygun olan tüm asansörleri kullanın; sağda: Lütfen iki taraftan da sıraya girin; altta: Yolun iki tarafına da park etmek katiyen yasaktır. (Alexander Crease'in izniyle.)

Meyvelüperini, onu dile getiren kişinin kimliğine bakarak – yani mısır gevreğini kimin servis ettiğine bakarak da tespit edebilir miyiz? Tam olarak değil. Aktör Shirley MacLaine'e ait fizikle ilgili aptalca görünen bazı açıklamalar şöyledir:

> Yeni fizik bizlere, olaylar ile ayrılmaz bir bütün olduğumuzu öğretmiştir. Hatta olaylarla sadece bir bütün olmakla kalmayıp, atomların dünyasındaki yapının bilincimiz sayesinde var olduğunu ve evrenin de devasa anlamda kolektif bir düşünce ürünü olabileceğini söylemiştir.[1]

Bu ifadelerle ilk başta alay edebiliriz. Ta ki onları James Jeans'in *Gizemli Evren* kitabındaki bir paragrafla kıyaslayana kadar:

> Edinilen bilginin akışı bizleri mekanik olmayan bir gerçeklik anlayışına götürmektedir; evren, devasa bir makineden ziyade devasa bir düşünce bütünü şeklinde görünmeye başlar. Akıl, madde âlemine kaza eseri girmiş davetsiz bir misafir gibi görünmez artık. Aksine onu, madde âleminin yaratıcısı ve yöneticisi olarak selamlamak durumunda kalırız.[2]

Görüldüğü gibi aktörün ve bilimcinin dili birbirine o kadar bezerdir ki ya MacLaine James Jeans'in kitabını okudu ya da kitaptan alıntı yapan birinin yazısını okudu demek zorunda kalırız.

Meyvelüperleri sübjektif veya keyfi değildir. Meyvelüperi, kelimeler veya imgeler sanki özel bir güce veya sihre sahipmiş gibi kullanılıyorsa söz konusudur. Meyvelüperi, ödünç alınmış bir otoriteye dayanır. Bu otorite kullanılan kelimelerin doğasından gelir. Sağlık kürleri, yaşam biçimi geliştirme yöntemleri ya da kuantum güçlerini kullanarak işlediğini iddia eden mucize formüllere ait reklam malzemeleri meyvelüperi vakalarına örnektir. Sayılara özel güçler atfeden numeroloji de bir diğer örnektir. Birbirlerinden milyar kere milyarlarca kilometre uzaklık ile uzay boşluğuna dağılmış olan yıldızların keyfi dizilimlerinden ve doğumu esnasında dünyadan bakıldığında görünen gezegen konumlarından yola çıkarak bir insanın karakteristik özelliklerinin söylenebileceğini iddia eden astroloji de bir başka örnektir.

Fakat biraz sihrin zararı ne ki diye sorabilirsiniz? Zararı çok. Şöyle iki örnek düşünebiliriz: Bir kişinin (örneğin bir arkadaş veya bir psikolog) karakteriniz hakkında bir tanımlama yaptığını ve bu tanımın kendinizi daha iyi an-

1 Shirley MacLaine, *Dancing in the Light*, Bantam, New York, 1985, s. 403.
2 James Jeans, *The Mysterious Universe*, Cambridge University Press, New York, 1930, s. 137.

lamanıza yardımcı olup olmadığını düşünün. Bir başka kişinin de (örneğin bir astrolog) benzer bir tanımlama yaptığını ve bu tanımlamaya inanmanız gerektiğini, çünkü yıldızların sizin üzerinizde güç sahibi olduğu ve karakterinizin böyle olması gerektiğine karar verdiğini söylediğini düşünün. Birinci örnek destekleyici ve kolaylaştırıcı bir durum iken, ikinci örnek otoriter ve açıklarınızdan faydalanmak suretiyle çalışan bir durum ortaya koyar.

ŞİZOFRENİYİ RESMETMEK

Meyvelüperinin tespit edilmesi en zor örneği tamamlayıcılık ile alakalıdır. Bu terim, 1927'de Niels Bohr'un atom altı bir fenomene günlük yaşamdan uygun bir metafor bulamadığı için koyduğu isimdir. Ancak ardından bu terim günlük yaşama uyarlanmış bir metafor haline gelmiştir.

Bohr'un çıkış noktası şu şekildeydi: Altıncı Bölüm'de gördüğümüz üzere 1920'lerde bilim insanları klasik dünyanın bakış açısıyla kuantum dünyasının şizofrenik olduğunun farkına vardılar. Bragg bu gerçeği, denizdeki dalga, kütük ve gemi örneği ile ve de meslektaşlarının Pazartesi, Çarşamba ve Cuma günleri dalga teorisini, Salı, Perşembe ve Cumartesi günleri de parçacık teorisini kullandığını söyleyerek ifade etmeye çalışmıştı. J.J. Thomson ise kaplanlar ve köpek balıklarına atıfta bulunmuştu. 1925-27'nin kuantum devrimi meseleye kısa bir süreliğine çözüm getirmiş gibi görünmüştü. Heisenberg'in matris mekaniği yaklaşımı bir metafor aramak için boşuna çabalamayın diyordu. Metafor aramak, başınızı derde sokan şeydir diyordu. Schrödinger'in dalga mekaniği yaklaşımı ise nihayetinde dalgaların en iyi metafor olduğunu söylüyordu.[3] Ancak 1927'de belirsizlik ilkesinin ortaya çıkmasıyla bu yaklaşımların hiçbirinin gerçek anlamda tatmin edici olmadığı görüldü. Şizofreninin gitmeye niyeti yoktu. Bir "şey" vardı ki (genel anlamda tanımlanması zor olduğundan şey kelimesini kullanıyoruz) onun asla erişilemeyen özellikleri vardı. Bu gerçek, nesnelerin özelliklerini sırtında taşıdığını söyleyen Newton bakış açısının karşımıza çıkardığı felsefesi bir bilmeceydi. Burada gerçeklik ve nesnellik artık nasıl bir anlam ifade ediyordu?

Bohr, büyük bir arayış içinde olan biri misali fizik bilimini pratik ediyordu. Aradığı kutsal hedef kuantum dünyasını günlük dil ve klasik kavramlardan oluşan bir alt yapı ile tam olarak izah etmekti. Michael Frayn'ın oyununda Bohr'u canlandıran karakterin söylediği gibi "neticede bütün bunları Margrethe'e (oyunda klasik kavramlarla düşünen sıradan insanı temsil eden

3 Pais, *Inward Bound*, s. 178.

Bohr'un eşi) açıklayabilmemiz gerekiyor." Parçacıkları ve dalgaları kendine ve eşine nasıl izah edebilirsin?

Fizikçi ve tarihçi Arthur I. Miller'e göre Bohr bu soruyu irdelerken, 1907'de öncülüğünü Pablo Picasso ve Georges Braque'ın yaptığı, 1909'da yaygınlaşan ve kübizm olarak bilinen bir resim sanatı türünden ilham aldı.[4] Gözlemcinin fotoğrafik bakış açısını kopyalayan perspektif resim sanatının liberalizminden kaçmak isteyen kübizmin sanatçıları, farklı açılardan bakılarak elde edilen çok sayıda görünümü tek bir tuvalde bir çeşit kolaj meydana getirecek şekilde üst üste koyarak yansıtmaya çalışmıştır. Bu yöntem, normal bir bakış açısına göre kübist görüşü daha tamamlanmış bir hale getirir. Her resim çok sayıda birbirine uymayan görünümü, sanki hiçbir yerden fakat her yerden bakılıyormuş gibi bir defada ortaya koyar. Öte yandan bütün bu birbiri ile uyumsuz görünümlerin, aynı şeyin görünümü halinde birbiri ile nasıl bütünlük arz ettiğini de gösterir. Her bir görünüm gözleyene ait belli bir konum ile bağlantılıdır. Bohr, kübist sanatçı Jean Metzinger'e ait bir eseri evinde bulunduruyordu ve bu resmi tamamlayıcılık ilkesinin bir örneği olarak gösteriyordu.

Bohr, cevabını aradığı sorunun görsel anlamda benzerini gözünün önünde bulunduruyordu. Bu soru, kuantum olaylarında olduğu gibi, bir nesnenin kendini aynı anda farklı şekillerde nasıl gösterebildiği (hem dalga hem parçacık gibi) sorusuydu. Ancak herhangi bir görüş açısından bakıldığında (deneysel tespit) bu farklı kimliklerden sadece biri tespit edilebiliyordu. Miller şöyle devam etmiştir:

> Kübizm, kuantum teorisinde tamamlayıcılık ilkesini keşfetmede Bohr'a doğrudan yardımcı olmuştur. Bu ilke, bir şeyin aynı anda hem parçacık hem de dalga olabildiğini, ancak bunlardan sadece biri halinde tespit edilebileceğini söyler. Analitik kübizmde sanatçılar tuvalin üzerine bir sahneyi mümkün olan bütün farklı bakış açılarından yansıtmaya çalışmıştır. Gözlemci gözlem yaparken bu farklı bakış açılarından birini seçer. Resme nasıl bakarsan resim o şekildedir. Bohr, Jean Metzinger ve Albert Gleizes'in kübist teori hakkında yazdığı kitabı okudu. Bu kitap, bir elektronun tümleşik varlığının hem dalga hem de parçacık özelliklerini barındırdığını ancak gözlem esnasında sadece bir özelliğin seçildiği fikrini ortaya atmasına ilham oldu.[5]

---

4 Arthur I. Miller, *Einstein, Picasso: Space, Time, and the Beauty that Causes Havoc*, Basic Books, New York, 2002.

5 Arthur I. Miller, "One Culture", *New Scientist*, 29 Ekim 2005, s. 44. Tamamlayıcılık düşüncesinin temelleri hakkında daha fazla bilgi için bkz. Gerald Holton, "The Roots of Complementa-

Belirsizlik ilkesinden haberdar olduktan birkaç hafta sonra Mayıs 1927'de Bohr "Kuantum Teorisinin Felsefi Temelleri" isimli bir makale üzerinde çalışmaya başladı.[6] Makaleyi yayınlanabilir hale getirmeye çalışırken ufukta bir başka proje belirdi. Eylül ayında bir konferansta İtalyan fizikçi Alessandro Volta'nın yüzüncü ölüm yıldönümünü anmak için Volta'nın memleketi Como'da bir konuşma yapması gerekiyordu. Bohr'un felsefi makalesi pek çok taslaktan geçti ancak hiçbir zaman yayınlanmadı. Bohr, makalede ele aldığı düşüncelerini Como'da yapacağı konuşmasına dahil etti ve 16 Eylül 1927'de "Kuantum Önermesi ve Atom Teorisindeki Yeni Gelişmeler" başlıklı konuşmasını gerçekleştirdi. Bu konuşma, günlük dile yeni bir kuantum metaforu kazandırdı: Tamamlayıcılık.

Bohr, dinleyicilerin daha önce de duyduğunu bildiği şeyleri yavaşça tekrarlayarak başladı konuşmasına. Bilimsel ekipmanlarımız (fizikçilerin laboratuvarlarında kullandığı şeyler) klasik dünyaya aittir ve onları anlamak için klasik fiziği kullanmaktan başka seçeneğimiz yoktur. İncelediğimiz şeyleri onları ciddi anlamda etkilemeden gözlemek genelde mümkündür. Fakat kuantum mekaniği bize sürpriz yapar. Bohr "atomlar dünyasında gözlenen her fenomen gözleyen ile bir etkileşim olayını içerir" dedi. Ve Heisenberg bizlere göstermiştir ki bu etkileşimin bertaraf edilmesi ve görmezden gelinmesi mümkün değildir ve onun belli ölçülebilir bir değeri vardır.



At Üzerindeki Kadın, Jean Metzinger, 1911-1912. Danimarka Ulusal Galerisi, Kopenhag (Artists Right Society (ARS), New York/ADAGP, Paris).

Ardından Bohr günümüzde yaygın olarak bilinen ve

rity", *Thematic Origins of Scientific Thought. Kepler to Einstein* içinde, Harvard University Press, Cambridge, 1988, s. 99-145.

6 Niels Bohr, *Collected Works*, Cilt 6, Jurgen Kalckar (der.), Ness York North-Holland, 1985, s. 26.

mantıksal anlamda olayın sonucunu izah eden düşünceyi dile getirmiştir: "Bu nedenle, ne gözlenen olaya ne de gözlemi gerçekleştiren gözlemciye fiziksel anlamda bağımsız bir gerçeklik yüklenemez."

Günlük deneyimlerimiz, Planck sabitinin çok küçük bir değer olmasından dolayı bu sonuçlardan etkilenmez. Bu durum, tıpkı rölativitenin etkilerinin gözlenebilmesi için çok yüksek hızların gerekli olmasından dolayı günlük yaşamda bu etkilerin tespit edilememesi gibidir. Bohr bu gerçeğin bilginin doğasına dair halen çok geniş çaplı sonuçları beraberinde getirdiğini vurgulamıştır. Klasik mekanikte bir sistemin durumunun tanımlanması bütün harici etkilerin bertaraf edilmesini gerektirir. Hiçbir şeyi rahatsız etmeden akvaryumun dışında kalmamızı gerekli kılar. Fakat kuantum mekaniğinde her gözlem, kontrol edilemez yeni bir faktör ortaya çıkarır. Yani söz konusu sistemin kesin ve açık bir tanımı doğal olarak artık mümkün değildir. Günlük yaşamda bildiğimiz anlamıyla neden-sonuç ilişkisi artık söz konusu değildir. Nedenselliği, ancak gözlem yapmadığımız zaman, yani onu kesin ve açık olarak bilmediğimiz zaman tanımlayabiliriz. Çünkü gözlem yapmaya kalkarsak, tanımlayabilme olasılığını imha ederiz. Kuantum teorisinin doğası bu nedenle bizleri bir parçacığın zaman ve mekân içindeki konumunu ve onun (klasik mekâniğe ait bir özellik olan) nedensellik yasaları ile idamesini tamamlayıcılık kavramı çerçevesinde ele almaya zorlar. Bu şekilde sistemi tanımlama ve gözlem yapma kavramlarını ayrı ayrı sembolize eder. Bu nedenle kuantum mekaniği, bilginin tamamlayıcılık teorisini geliştirme görevini bizlere yükler.

Tamamlayıcılık terimi, Bohr'un ontolojik etkileme olayına, yani nesneleri nasıl ölçtüğümüze bağlı olarak onların nasıl değiştiğini izah eden kuantum fenomenine verdiği isimdir. Klasik dünyada nesneler, onlara farklı şekillerde yaklaştığımızda bize sadece farklıymış gibi görünen ama aslında tek bir gerçekliği olan şeyler iken, kuantum dünyasında nesneler ise gerçekten farklı hale gelmektedir. Bir filin farklı uzuvlarına dokunan ve elde ettikleri verileri karşılaştırdıklarında birbirine uymadığını fark eden kör adamların hikâyesinde olduğundan farklı olarak kuantum dünyasında ortada bir fil yoktur. Çünkü kuantum fili, ona nasıl dokunulduğuna bağlı olarak gerçekten de bir halat, bir kolon, bir boru veya bir duvar haline gelmektedir.

Ancak konuşmasının sonunda Bohr çıkarılması gereken derin bir ders olduğunu ifade etti. "Umarım tamamlayıcılık düşüncesi meseleyi karakterize etmeye uygun bir fikirdir. Bu yeni fikir, obje ve özne arasındaki doğal ayrımı ifade edecek düşüncelerin oluşturulmasında genel anlamda karşılaşılan zorluklara benzer yönler taşımaktadır" dedi.

Eylül 1927'de gerçekleşen Bohr'un Como konuşması bir sonraki yılın Nisan ayında *Nature* dergisinde yayınlandı.[7] Editörler, Bohr ve takipçilerinin kuantum olaylarını, sadece ölçüm yapılması halinde kesin, tanımlanabilir ve gözlenebilir hale gelen soyutlamalar olarak kabul ediyor gibi görünmelerinden tedirgin olmuşlardı. Bu nedenle sıra dışı bir adım atıp bir ön yazı eklemeye karar verdiler. "Bu makalede geçenler, kavramları mecazi bir dille öğrenmek isteyen konunun uzmanı olmayan kişilerin beklentilerini tatmin etmekten uzaktır" diye yazdılar ve "gerçekten umuyoruz ki konu hakkında bu onların (kuantum fizikçilerinin) son sözleri değildir ve ileride kuantum teorisini daha resmedilebilir bir şekilde ifade etmeyi başaracaklardır" diye eklediler.[8]

Pauli bu ön yazıyı okuduğunda güldü ve biraz iğneleyici bir dille editörlerin tatsız tonuna şu şekilde bir yorum getirdi: "Biz İngiliz fizikçiler, müteakip yazıda ortaya konmuş olan düşüncenin gelecekte doğru çıkmaması durumunda çok memnun oluruz. Ancak Sayın Bohr nazik bir insan olduğu için bu tür bir memnuniyet pek kibarca olmaz. Bunun ötesinde ünlü bir fizikçi olduğu için ve çoğu zaman hatalı olmak yerine haklı çıktığı için de söz konusu umudun gerçeğe dönüşme şansı oldukça azdır."[9]

KARŞILAMA

Bohr'un pek çok meslektaşı da bu yeni fikre iyi bir tepki göstermedi. Onların nazarında bu fikir bir felsefeydi. En iyimser haliyle gereksiz ve en kötü ihtimalle sadece bir düşünceydi. En iyi haliyle gereksiz, en kötü haliyle de kafa karıştırıcı ve problem çıkarıcıydı. Como'daki dinleyici kitlesinin Bohr'un konuşmasına verdiği tepkiyi Jammer şu şekilde özetlemiştir: "Kuantum mekaniği hakkında kimse düşüncesini değiştirecek gibi görünmüyor."[10] Schrödinger, Bohr'un zor felsefi meseleleri halının altına süpürmeye çalıştığını düşündü ve "Bohr, bütün zorlukları tamamlayıcılık düşüncesi ile bertaraf etmeye çalışıyor" diye yazdı.[11] Felsefeci Karl Popper ise "Bohr'un tamamlayıcılık ilkesinin ardında ilginç sezgisel bir düşünce yattığından şüphem yok. Fakat ne kendisi ne de destekçileri bu ilkeyi açıklamayı başarabilmiş değil" diye yazdı.[12] Diğer bilim insanlarının sadece birkaçı bu konuda hevesli görünüyordu.

7 *A.g.e.*, s. 113-36, s. 580-90. Bu cilt, Bohr'un hazırlık notlarını ve yardımcı dokümanlarını da içeriyor.
8 *A.g.e.*, s. 52.
9 *A.g.e.*
10 Jammer, *Conceptual Development*, s. 354.
11 C. Moller, *Fysiks Tidsskrift* 60, 1962, s. 54.
12 Karl Popper, *The Logic of Scientific Discovery*, Routledge, Londra, 1959, s. 456.

J. Robert Oppenheimer tamamlayıcılık ilkesinin atom fiziğinin ortaya koyduğu konular içinde, güncel bilimin alanı dışında kalan meseleler hakkında geçerli, konuyla alakalı ve çokça ihtiyaç duyulan bir örnekleme sunduğunu söyledi.[13] Buna ek olarak Oppenheimer, kuantum mekaniğinden daha ziyade insan dünyasında var olan belirsizlikleri anlamada yardımcı olacak daha iyi ve daha bilindik fikirlere sahip olduğumuzu söyledi. "Hamlet bunları Planck sabitinden daha güzel ifade etmiştir" dedi.[14]

İhtiyaç duyulan ve konuyla alakalı bu örneklemeler neydi? Bohr, bunları tespit etmeye çalışan ilk ve en dikkatli kişiydi. Felsefeye ve psikolojiye büyük saygısı vardı. Ancak bu alandaki uzmanların fizikteki bu yeni keşiflerle ilgili kendisinin önemli gördüğü düşünceleri alma konusundaki yeteneksizliklerinden dolayı hayal kırıklığına uğraşmıştı. Bohr, tamamlayıcılık ilkesinin insan yaşamının bütün boyutları üzerindeki etkilerinin kapsamlı sunumu olan ve bazı meslektaşlarının "Kitap" diye isimlendirdiği kitabı yazmayı planladı.[15] Tarihçiler bu kitabın içeriğinde neler olabileceği hakkında açık bir tablo ortaya koymakta zorlandı. Tamamlayıcılık ilkesinin önemini açıklama çabası, Bohr'un biyografisinde Pais'in karşısına bir engel olarak çıkmıştır. Fizikçilere tamamlayıcılık ilkesini açıklamaya çalışırken karşılaştığı durumu ortaya koyan bir soru-cevap bölümü yazarak ilerlemeye çalıştı. Bu bölümden bir alıntı aşağıdaki gibidir:

> Soru: Tamamlayıcılık ilkesi denen bu konu son derece ilginç. Ancak benim ne işime yarayacak?
> Cevap: Tamamlayıcılık ilkesi, ne kuantum mekaniği hesaplarında ne de bir deney tasarlamada sana yardımcı olabilir. Ancak fizik yapabilmek için sadece gerçekleri özümsemek ve gerçekleri geliştirmeye çalışmak yetmez. Bu ikisinin arasında yapmaya çalıştığın şeyin manasına da dönüp bakmalısın. Bu açıdan bakıldığında Bohr'un düşünceleri çok önemlidir. Sence de, örneğin modern bir bilim insanının bir fenomen hakkında konuşurken ne söylemeye çalıştığı veya ne söylemesi gerektiği senin açından önemli değil midir? Ayrıca bu düşünceler, konuyu anlamaya çalışan konunun uzmanı olmayan kişiler için açıklayıcı olabilir ve bilim insanlarına mesleğinin amacının ne olduğunu tekrar hatırlatabilir.[16]

13 J. Robert Oppenheimer, *Science and the Common Understanding*, Simon & Schuster, New York, 1954, s. 9.

14 J. Robert Oppenheimer, "Electron Theory", *Physics Today* 10, 1957, s. 20.

15 Niels Bohr, *Collected Works*, Cilt 10, David Favrholdt (der.), New York, North-Holland, 1999, Editörün önsözü, s. v.

16 Pais, *Niels Bohr's Times*, s. 433.

Nature dergisinde yayınlanan makalesinin son cümlesinde Bohr tamamlayıcılık ilkesini, insan düşüncesindeki bazı genel zorluklara hitap eden bir ilke olarak tarif eder. Bu nedenle söz konusu ilkenin, insanların hem gözlemci hem de aktör olduğu diğer alanlara da hitap eden geniş bir uygulama alanına sahip olduğuna işaret eder. Hem gözlemci hem de aktör olma şeklinde bu çifte rolün aynı zamanda antropoloji, biyoloji ve psikolojide de karşımıza çıktığını söyleyen Bohr bu alanlardaki problemleri de tamamlayıcılık ilkesi ışığında anlamaya çalışmıştır. Tamamlayıcılık ilkesi, biyolojideki mekanizmacılık (yaşamın mekanik nedenselliğin ürünü olması fikri) ve dirimselcilik (yaşamın özel, bireysel, hayat verici bir kuvvetin ürünü olması fikri) düşüncelerinin savunucuları arasındaki anlaşmazlığı açıklayabilir. Bohr'a göre bu ilke, psikolojide birinci ve üçüncü perspektif düşünceleri arasındaki anlaşmazlığa da uygulanabilir. Bohr, bu alanların yanı sıra kamu yönetimi, hukuk ve hatta sevgi gibi konulara kadar genişletilmiş uygulamaları da incelemiştir. Eğer Bohr başarılı olabilseydi, atom altı fizikte geliştirilmiş kavramların, mecazi olarak değil, harfi harfine insan yaşamına uygulandığı dramatik bir sahne ortaya çıkmış olurdu. Ancak Bohr'un bu çabaları gereken ilgiyi görmedi.[17]

Pek çok fizikçi Bohr'un, tamamlayıcılık ilkesini fiziğin dışında diğer alanlara uygulama çabasından mahcup olmuştu. New York Üniversitesi fizikçilerinden Alan Sokal 1998'de fiziğe girmeye çalışan hümanistlerle alay etmişti. Hümanistler bu sayede kendi düşüncelerine en iyimser haliyle cahilce ve en kötümser haliyle ise maskaralık olarak görünen bir destek bulma çabasındaydılar. Sokal, hümanistlerin fizik hakkında söyledikleri (tamamlayıcılık ilkesini de içeren) saçma ve komik ifadelerinden oluşan alaycı bir makale kaleme aldı. Bu makaleyi, beşeri bilimler alanında önde gelen bir dergi olan *Social Text*'te, Sokal'ın Şakası isimli bir bölüm halinde yayınlamayı başardı. Buna cevaben bilim tarihçisi Mara Beller *Physics Today* dergisinde, "Sokal Şakası: Burada Kime Güleceğiz?" başlıklı bir makale yayınladı. Makalesinde Bohr'dan alıntı yapan Beller (Born, Heisenberg, Jordan ve Pauli'den de alıntılar mevcut), fizikçilerin de bazen hümanistler kadar saçmalayabildiğini göstermeye çalıştı. Bir örneği şu şekildedir:

> Işığın parçacıklardan oluştuğu tezi ile ışığın dalgalardan oluştuğu tezi, ikisini birleştiren kuantum mekaniği sentezi ortaya çıkana kadar birbiri ile çatışmıştır. O halde neden aynısını liberalizm (veya kapitalizm) tezi ile onun antitezi olan komünizme uygulayıp, antitezin ebedi ve tam bir zaferi yerine

17 Bkz. Bohr, *Collected Works*, Cilt 10 ve Pais, *Niels Bohr's Times*, s. 438-47.

> sentezin ortaya çıkmasını beklemeyelim? Burada bir tutarsızlık var gibi. Ancak tamamlayıcılık fikri daha derine iner. Gerçekte buradaki tez ve antitez ikilisi psikolojik anlamda itici bir gücü ve ekonomik kuvvetleri temsil eder. Her biri kendi içinde haklı, ancak uç noktalarında birbirlerini dışlayan yapıdadır. df ile sembolize edebileceğimiz özgürlük boyutu ve dr ile sembolize edebileceğimiz yönetim boyutu arasında $dfdr = p$ türünden bir ilişki olmalıdır. O halde buradaki politik sabit p neye karşılık gelir? Bunun cevabını bulmayı gelecekte keşfedilecek beşeri ilişkilerin kuantum teorisine havale ediyorum.[18]

Bu saçmalık gibi görünen paragrafı yazan kişi, Beller'in ortaya çıkardığı üzere, kuantum mekaniğin kurucularından biri olan ve kuantum mekaniğinin istatistiksel yorumunda dolayı olan 1954 Nobel ödülünü kazanmış olan Max Born'dan başkası değildir. Beller'in makalesi, Bohr'un titiz çabaları ile kuantum terimlerinin ve imgelerinin önemini tarif etmede Bohr'dan daha az titiz davranan diğerleri arasında ayrım yapmanın ne kadar zor olduğunu göstermesi bakımından uyandırıcı niteliktedir.

Bu ayırımı yapmak, kuantum terimleri halk tarafından bilinir hale geldikten sonra daha zor hale gelmiştir. 1933'te Bohr, Haziran ayında Chicago'da yapılacak bir toplantıda Amerikan Bilim İlerleme Derneği'ne hitap etmek üzere ikinci defa Amerika Birleşik Devletleri'ni ziyarete gelmişti. Tamamlayıcılık ilkesi hakkındaki görüşlerini açıkladığı herkese açık bir konuşma yaptı. Burada verdiği mesajlar bilim insanlarını hayal kırıklığına uğratırken diğerleri tarafından büyüleyici karşılandı.[19] *New York Times* gazetesi muhabirleri kaleme aldıkları bir yazıda Bohr'un metaforlarını açıklamak için kendi metaforlarını icat etti.[20] Yazıda Bohr'un, belirsizlik ilkesinin uygulamasını atom fiziğinin alanının dışına genişlettiğini ve insanın çevresindeki dünya ile olan bütün ilişkilerini ve bütün bilme ve düşünme süreçlerini kapsar hale getirdiğini açıkladılar. Bohr nesnelerin doğasında var olan ve insanın onları bilme yeteneği ile ilişkili olan bir düalite keşfetmişti. Bu düalitedeki paradoks, nesnelerin Jeykll-Hyde doğasının esasen çelişkili olmasında yatar. Her iki kimlik farklı zamanlarda gerçek iken herhangi bir zaman anında sadece birinin gerçekliği söz konusudur. Robert Louis Stevenson'un 1886'da yazdığı kısa hikâyede Dr. Jeykll'ın Mr. Hyde'a dönüşmesi çoğunlukla Dr. Jeykll'ın kontrolü altında gerçekleşir. İksiri içer ve kötü karakter olan Mr. Hyde'a dö-

18 M. Beller, *Physics Today* 5, Eylül 1998, s. 29-34.

19 Pais, Bohr'un bu konuşmasını eserinde tartışmıştır. *Niels Bohr's Times*, s. 415.

20 William L. Laurence, "Jekyll-Hyde Mind Attributed to Man", *The New York Times*, 23 Haziran 1933, s. 1, 13.

nüşür. Ancak Bohr'un fikri, birbiri ile uyuşmazlık içinde olan bir atomsal durumun bir diğerine dönüşümünün gözlemciye bağlı olarak gerçekleştiği yönündedir. Yazı şu şekilde devam eder:

> Diğer bir deyişle, doğanın bir yönü hakkında bilgi edinme eylemi onun bir diğer yönü hakkında bilgi sahibi olmamızı imkânsız kılmaktadır. Bir anda sadece biri hakkında bilgi sahibi olabiliriz. Varlık ve bilgi sahasında yer alan nesneler için kesin bir süreksizlik söz konusudur. Bu nedenle eğer bir şey gerçek ise, onun bu gerçekliği bir başka şeyin varlığını, bu varlık durumu hakkında bilgi edinmemiz anlamında ister istemez ortadan kaldırmaktadır. Bu çelişkili düalite kaçınılmazdır çünkü nesnelerin temel doğasında yer alır. Bu teoriye göre, ya determinizm ya da hür irade var demek veya ya nedensellik ya da tesadüf var demek hatalı bir yaklaşımdır. Bunların her ikisi tek ve aynı gerçekliğin vazgeçilmez parçalarıdır. Bu durum aynı kürenin konveks ve konkav yüzleri gibidir. Kürenin içindeyseniz yüzeyi sizin için konkavdır ve onun konveks yönünü deneyimlemek artık mümkün değildir.

Yazının devamında, Bohr ve diğer kuantum fizikçilerinin belirsizlik canavarını öldürmeye çalıştıkları ancak onu her defasında Mefisto misali başka bir surete girmiş halde kendileriyle alay ederken buldukları ifade edilmişti. Tamamlayıcılık ilkesi kavramı, bu yok edilemez gerçeğe tanınmış imtiyazdı.

Bu tarif *New York Times* gazetesinin hoşuna gitmişti. "Zıtların Evliliği" başlığını taşıyan bir yorum yazısında Bohr'un ortaya attığı bu yeni bilgi teorisinin, özellikle politikacıların işlerine uygun düşecek şekilde tasarlanmış gibi göründüğü yorumu yapıldı. Ne de olsa zıtları birleştirmeye çalışmak politikacıların gündelik işidir. Gazetedeki yazı şöyle devam eder: "Günümüzde yurtta ve dünyada gördüğümüz politik hareketlere en yakın benzerlik gösteren bilimsel konu, modern atom fiziğine dayalı olan tamamlayıcılık ilkesidir. Tamamlayıcılık, devlet yönetiminde sahneyi kaplayan bir kavramdır. Hiçbir şey göründüğü gibi değildir. Her şey, gözlemcinin nazarında gündelik olarak değişen bir akış içindedir." Tammy Hall politika eylemine atıfta bulunarak şöyle yazdı: "Eğer bu manevra başarıya ulaşır ve Mr. Hylan aniden bir anti-Tammy olup cumhuriyetçi haline gelirse, belirsizlik teorisinin pratik politika tarafından nasıl geride bırakıldığını Heisenberg'in kendisi dahi itiraf edecektir."[21]

Üçüncü Bölüm'de değindiğimiz kuantum sıçraması teriminin atom altı dünyadan günlük konuşma diline geçmesi süreci, bu kitapta ele aldığımız diğer ifadeler ve imgelerin takip ettiği yolu modellemiştir. Bunların mecaz anlamlı kullanımı bazı faktörlerin bir araya gelmesi sonucu söz konusu olmuş-

21 *The New York Times*, 24 Haziran 1933, s. 12.

tur; var olan kelimelerin yetersizliğinden dolayı yeni bir kelimeye olan ihtiyaç, kusursuz olma arzusu ve bilimsel terimlerin kültürel saygınlığı. Kuantum sıçraması terimi, giderek mekanize olan bir çağda süreksiz boşlukları tanımlama ihtiyacından doğan bir dizi mecaz uygulaması için kullanılmıştır. Tamamlayıcılık terimi ise, aynı konuya olan uyumsuz yaklaşımlara (sanattan dine kadar) uygulanmıştır.[22]

Fakat bunlara zaten sahip değil miydik? Eski çağlardan beri hem Doğu hem de Batı uygarlıkları insan yaşamında ve doğada var olan zıtların birlikteliğini ifade etmek için mandorla (badem şeklinde bir bütünün içinde yer alan kesişmiş iki çember) veya yin-yang (dalgalı bir hat ile her birinin içinde bir nokta bulunan iki eşit bölgeye ayrılmış bir çember) işareti gibi sembolleri kullanmıştır. Bu zıtlar iyi/kötü, yeryüzü/gökyüzü, yaşam/ölüm, maddesel/ruhsal gibi kavramlar olabilir. Var olan bütün, her ikisini de ihtiva eder. Bohr, kuantum fiziğinde olup bitenleri açıklama çabası sonucu zıt fikirlerin birlikteliğini ifade eden yeni bir kelime üretmişti. Bu yeni kelime, pek çok farklı alanda gazeteciler, yazarlar ve düşünürler tarafından benimsendi. Bohr, aile albümü için yin-yang sembolünü kullanmakla eski imgelerle bağ kurulmasını teşvik etmişti. Bu terim birkaç nedenden dolayı özellikle çekici geliyordu. Birincisi, bir bilimsel terimin sahip olduğu saygınlığa sahipti. İkincisi, zıtların ortaya çıkması sürecinin özensiz veya objektif bir süreç olmadığını, ancak insan müdahalesi sonucu olduğunu söylüyordu. İnsanlar evren için yeniden önemli varlıklar haline gelmişti. Bilim ve sanatın anlamı hakkında heyecan verici kitaplar yazmış olan doktor ve yazar Leonard Shlain, Bohr'un tamamlayıcılık ilkesinin manevi bir sınırda yer aldığını söyledi.[23] Başkaları ise politika gibi farklı alanlara uygulayarak bu ilkenin "yatay" ve "düşey" gibi farklı formları olduğunu ilan etti.[24] Bazı yazarlar da tamamlayıcılığı bazen aynı şeyin farklı yönleri olarak tanımlarken bazen de bilim ve din gibi ve fizik

22 Referanslar için bkz. J. Haas, "Complementarity and Christian Thought: An Assessment", *Journal of the American Scientific Affiliation*, 1983, s. 145-51, 203-9; R. Nadeau, *Readings from the New Book on Nature: Physics and Metaphysics in the Modern Novel*, Amherst University of Massachusetts Press, 1981; S. Ryan, "Faulkner and Quantum Mechanics", *Western Humanities Review* 33, 1979, s. 329-39; J. Honner, "Niels Bohr and the Mysticism of Nature", *Zygon* 17, 1982, s. 243-53; J. Honner, "The Transcendental Philosophy of Niels Bohr", *Studies in History and Philosophy of Science* 13, 1982, s. 1-29; R. Schlegel, "Quantum Physics and the Divine Postulate", *Zygon* 14, 1979, s. 163-65; A. Hye, "Bertolt Brecht and Atomic Physics", *Science/Technology and the Humanities* 1, 1978, s. 157-70; F. Falk, "Physics and the Theatre: Richard Foreman's Particle Theory", *Educational Theatre Journal* 29, 1977, s. 395-404.

23 Leonard Shlain, *Art and Physics: Parallel Visions in Space, Time, and Light*, Morrow, New York, 2007, s. 24.

24 Jammer, *Conceptual Development*, Bölüm 7.2: "Complementarity."

ve sanat gibi tamamen farklı alanların tamamlayıcı olduğunu iddia etti.[25]

Bazı başka örneklerde ise tamamlayıcılık teriminin sadece şaka amaçlı kullanıldığını görüyoruz. Örnek olarak (şu an kapanmış olan) Kuantum Bira Teorisi web sitesini alabiliriz. Bu site, Hollanda'da yaşayan çevirmen ve bira fanatiği Kyle Wohlmut tarafından yapılmıştı. En son lise öğrencisiyken fizik dersleri almış olan Wohlmut, kendi teorisinin ardında yatan gerçeğin bira tatlarına yönelik deneyimlerimizin tamamlayıcı şekilde olan çatışmalara dayandığını iddia etmiştir. İddiasına göre her birada iki farklı tat (şerbetçiotu ve malt) üstünlüğü ele geçirmek için mücadele içindedir. Bu iki taraf beğeninizi kazanmak için bir savaşa tutuşur. Nihayetinde en iyi bira, her iki taraf savunma siperlerine geçip savaşın süresini uzattıklarında ortaya çıkar. Bir diğer neden ise, bütün çabalarına rağmen kalitesi ve tadı istikrarlı olan ev birası yapmanın neredeyse imkânsız olduğunu keşfetmiş olmasıdır. Bu gerçek kendisini, bira üretiminde birtakım esrarengiz ve bilinmeyen faktörlerin işler halde olduğu sonucuna varmaya zorlamıştır.

Diğer kullanıcılarda daha ezoterik bir yaklaşım görüyoruz. Psikoterapist Lawrence LeShan'ın *Medyum, Mistik ve Fizikçi* isimli kitabında yaptığı mistisizm savunmasını örnek olarak alabiliriz. LeShan, mistikler gerçekliğin farklı bir bakış açısını kavrama arayışı içindedir diye yazdı. "Burada kavrama kelimesini, entelektüel anlamda olduğu kadar duygusal boyutta da anlayış ve düşünceye katılış olarak kullanıyorum" diye ekledi... "Fizikte bu duruma tamamlayıcılık ilkesi denir. Bu ilke, bir fenomenin bütünüyle anlaşılabilmesi için ona iki farklı bakış açısından yaklaşmak zorunda olduğumuzu söyler. Bu bakış acılarının her biri gerçeğin bir yarısını ortaya koyar."[26]

Tamamlayıcılık ilkesinin felsefi değerinin ortaya konmasında yine en çok işi yapan kişi felsefeci Žižek oldu. Bu ilkeyi Alman felsefeci G.W.F. Hegel'in akıl yürütme metodundaki karakteristik ile karşılaştırdı: "her ikisi de, bilmeye çalışan ile bilinmek istenen arasında ilk başta bir boşluğun oluşmasına neden olan bir itiraz ortaya koyar, sonra da kendi yarattıkları bu boşluğun nasıl doldurulması gerektiği problemi ile uğraşır." Žižek'e göre her ikisi (hem Hegel hem de kuantum fiziği) için çözüm, insanın konumu ve rolünü, anlamaya çalıştığı şey ile birleştirmekten geçer.[27]

25 Örnek: "Sanat ve fizik, dalga ve parçacık gibi, dünyanın tek bir tarifinin iki farklı ancak birbirini tamamlayıcı yüzü gibidir." (Shlain, *Art and Physics*, s. 24).

26 Lawrence LeShan, *The Medium, the Mystic and the Physicist: Toward a General Theory of the Paranormal*, Thorson, Londra, 1974.

27 Slavoj Žižek, *Less Than Nothing: Hegel and the Shadow of Dialectical Materialism*, Verso, New York, 2012, s. 931.

Fakat sonunda, en sonunda, hatırla, hepsini Margrethe'e açıklayabilmemiz gerekiyor!

– Michael Frayn'ın Kopenhag oyunundaki Bohr karakterinden

Margrethe Bohr (1890-1984) Kopenhag'ın güneyinde küçük bir kasabada dünyaya geldi. 1910'da Niels Bohr ile tanıştığında Fransızca öğretmeni olmak istiyordu. İki sene sonra Niels ile evlendi. Bohr'un sadece hayat arkadaşı değil aynı zamanda entelektüel ortağıydı. Mektup ve makalelerinin revize edilmesinde, yeni düşünceleri kendine açıklamasında ona yardımcı olurdu. Bohr'un, kuantum dünyasında olup bitenleri klasik terimler kullanarak Margrethe'e (ve dolayısıyla da kendine) açıklaması imkânsızdı. Bunu gerçekten denedi mi emin değiliz. Yine de bu tür bir açıklamanın neye benzemesi gerektiğini hayal edebiliriz. Böyle bir açıklama yapabilmek için Bohr'un yetenekli ve yaratıcı olması ve Margrethe'in çok zeki olduğunu takdir etmesi gerekirdi.

Bohr'un, öncelikle pek çok tarihi nedenden dolayı günümüz insanının Newton fiziği temellerine dayalı bir dünya görüsünü miras almış olduğunu açıklayarak başlaması gerekirdi. Bu dünya görüşüne göre nesneler ya dalgadır ya da taneciktir. Ardından Bohr, deneysel sonuçların bizleri bu dünya görüşünü neden değiştirmeye zorladığını belirtecektir. Kuantum mekaniğinin yeni bir tür fenomenin varlığını ortaya çıkardığını açıklayacaktır. Bu fenomenin, onu incelemek için nasıl bir deney düzeneği oluşturduğumuza bağlı olarak ya dalga ya da parçacık gibi davranabilmesi mümkün olacaktır. Ne yaparsak yapalım, söz konusu kuantum fenomenini bu iki davranıştan sadece birine indirgemek mümkün olmayacaktır. Beklenmedik ve yeni bir bilgi karşısında nasıl ki bazen çok iyi tanıdığımızı düşündüğümüz bir yakınımız veya arkadaşımız hakkında düşüncelerimizi değiştirmek zorunda kalıyorsak (uzun tanışıklığımızdan dolayı bu gerçeğe direnç gösterdiğimizi görürüz), bunun benzerini şimdi doğa için yapmak durumundayız. Ardından Bohr bu durumun, bir şeyin nasıl gördüğünün ona nasıl baktığımıza bağlı olarak değiştiği günlük algılarımızdaki duruma benzer olduğunu söyleyerek detaya inebilir. Ancak burada en önemli fark, kuantum fenomenlerini nasıl gözlediğimiz, nesnelerin sadece nasıl göründüğünü değil fakat doğrudan nesnenin ne tür bir varlık oluğunu değiştiriyor olmasıdır. Nihayetinde bu durumun, verilen bazı kararların (kiminle evlenmek veya nasıl bir kariyere atılmak gibi) insanları geri dönüşü olmayacak şekilde değiştirmesi gibidir diye bir sonuca varacaktır. Tamamlayıcılık dünyanın sahip olduğu bir özellik değildir. Fakat dünya-

yı matematiksel olmayan terimler ile açıklamak için başvurmak zorunda olduğumuz metodun bir özelliğidir.

Bohr'un yeterli hayal gücüne sahip bir kişi olduğunu varsayarsak (ki öyle olduğundan kuşkumuz yok) sonunda Margrethe'in başını sallayarak onay veriyor olduğunu hayal edebiliriz.

TAMAMLAYICILIK, NESNELLİK VE ÇİFT YARIK DENEYİ

Bohr, tamamlayıcılık düşüncesini meslektaşlarına tanıttığı makalesinde "klasik fiziksel anlamda bağımsız bir gerçeklik ne fenomenlere ne de gözlemi yapanlara yüklenemez" diye yazmıştır. Bu ifade pek çok meslektaşının tepkisini çekmiştir ve günümüzde halen çokça yanlış anlaşılmaktadır. Doğrusunu nasıl anlamalıyız?[28] Bohr, bir mistik veya idealist değildir. Gerçekliğin var olmadığını veya gerçekliği bilincin yarattığını söylemez. Söylemek istediği şey, kuantum fenomenlerinin, fizik biliminin onları inceleme metodundan ayrı tutulamayacağı gerçeğidir. Bohr, inatçı deneysel bir bilimci olduğunu söylemektedir.

Bu ifadeyi cihazlarımızın nasıl çalıştığına dair kabullerimize kıyas edelim. Newton fiziğini esas alan bir astronom bir teleskobu güvenle kullanır. Bu teleskobun, bakış açımızı temelden değiştirmeden yıldızları ve gezegenleri gözleyebilme yeteneğini geliştireceğini kabul eder. Bir astronomun teleskobu vasıtasıyla gördüğü şey, teleskobu kullanma yeteneği veya çevre koşullarından kaynaklanacak farklılıkları ihmal edersek, bir başka astronomun kendi teleskobu vasıtasıyla gördüğü şeyin aynısıdır. Burada kullanılan cihaz basitçe algımızı geliştirmektedir. Ancak teleskoplar, gök cisimlerine ait sahip olduğumuz bakış açısından ayrı tutulabilir. Bizlere gösterdikleri şeyler gök cisimlerinin sadece epistemolojisini etkiler; yani onlar hakkında ne bildiğimizi etkiler.

Günümüz astronomları, emin olmak için, elektromanyetik spektrumun farklı bantlarını kapsayan farklı tür teleskoplar kullanır ve gökyüzünün farklı büyüklükteki alanlarını inceler. Tek başına hiçbir cihaz bütün gökyüzünü bize sunmak için yeterli değildir. Bir astronomun topladığı veri gözlem için kullandığı teleskoba bağlıdır. Yani veri, kullanılan cihaza ve cihazın nesne ile olan münasebetine bağlıdır. Felsefeciler bunun algının temel noktası olduğunu bilir; bir nesnenin (örneğin bir bardak) kendini nasıl gösterdiği, o an nerede durduğumuza ve ona nasıl yaklaştığımıza bağlıdır; sardağı tamamiyle ve bütün yönleriyle algılamamızı sağlayacak tek bir bakış açısı veya tek bir görüş noktası yoktur. Bardağı, sürekli değişen ancak birbiri ile sistematik ilişki içinde olan bakış açılarından algılarız. Bilim insanları gibi felsefeciler de, günlük konuşma dili ile sadece kabaca tarif edilebilecek kavramlar için teknik terimler kullanmayı tercih eder. Felsefe jargonunda bu temel algısal gerçek noetik-noematik ilişkisi olarak bilinir; bir nesnenin kendi ile ilgili bize gösterdikleri (noema) nasıl gözleniyor olduğuna bağlıdır (noesis). Bunlardan biri değişirken diğeri de değişir. Ancak pek çok pratik açıdan gözlemci olarak bizim konumumuz göz ardı edilebilir ve gözlediğimiz bardak hakkında sanki kendi başına bağımsız bir gerçeklikmiş gibi ve bizim konumumuz sadece epistemolojik bir meseleymiş gibi bahsedebiliriz.

Bohr'un işaret ettiği gibi kuantum teorisi, en azından kuantum olayları söz konusu olduğunda, bu bakış açısına muhalefet eder. ***Nature*** dergisinde yazdığı gibi kuantum teorisi temelde var olan bir süreksizlik ortaya koyar. Atomların dünyasındaki süreçlerin

28 Bohr'un sözlerinin güzel bir analizi için bkz. Don Howard, "Who Invented the 'Copenhagen Interpretation'? A Study in Mythology", *Philosophy of Science* 71, 2004, s. 669-82.

doğasında var olan ve klasik teorilerde karışımıza çıkamayan bir belirsizlik tarif eder. Söz konusu fenomenlere nasıl yaklaştığımız onların bize nasıl göründüğünü temelden değiştirir. Konuma mı yoksa momentuma mı ilk önce göz atacak olmamız sonuçta bir fark meydana getirir. Bu durum atomlar seviyesindeki olayların sanki birer soyutlama olması gibidir. Örneğin parçacık özelliğini inceleyecek şekilde cihazlarımızı ayarlarsak bulacağımız şey bu özellik olacaktır. Veya dalga özelliğini inceleyecek şekilde cihazlarımızı ayarlarsak bulacağımız şey bu defa dalga özelliği olacaktır. Bohr'un gözlem araçları diye ifade ettiği deney düzeneklerimiz bu nedenle sadece epistemolojiyi değil fakat ontolojiyi de etkilemektedir. Bu durum astronomların gök cisimlerine bir gezegen-teleskobu ile bakması sonucu bir gezegen ve bir kuyruklu yıldız teleskobu ile bakması sonucu bir kuyruklu yıldız görmesi gibidir. Böyle bir durumda artık teleskobu gözlemin gerçekliğinden veya bulmaya çalıştığınız delilden ayrı tutamazsınız. Çünkü burada kullandığımız cihaz algımızı genişletmenin ötesinde bir iş yapar. Elde ettiğimiz veriye anlam vermek ve bu veriyi başkaları için de anlam ifade edecek şekilde gök cismiyle ilgili diğer veriler ile sentezleyebilmek için, cihazı ve cismi ayrı ayrı değil fakat teleskop-gök cismi sistemini bir bütün halinde tarif etmek zorunda kalırız.

On yıl sonra Bohr'un, Como konuşmasındaki sonuçları özetlerken söylediği gibi, atom fiziği bizlere öğretmiştir ki; gözlenen cisim ile ölçümü gerçekleştiren cihaz arasındaki kaçınılmaz etkileşim, atomsal nesnelerin davranışlarını gözlem cihazlarından bağımsız bir şekilde tarif etme olanağına kesin bir limit getirmiştir. Gözlem cihazının "arkasına geçip" orada "gerçekte" ne olduğuna bakmak imkânsızdır. Bu durum, bugüne kadar gözlem olayı ile gözlenen nesnenin davranışı arasında kesin bir ayrım yapmanın mümkün olduğunu kabul etmiş olan doğa felsefesinde son derece yeni bir epistemolojik problem meydana getirir. Bu kabul, konuşma diline işlenmiş, günlük deneyimler ile doğrulanmış ve klasik fiziğin temelini teşkil eder bir kabuldür. Bu temel, doğayı sanki bir akvaryumun içindeymiş gibi düşünüp, ona akvaryumun dışından bakıyormuşuz gibi konuşma hakkını bize vermektedir. Mutlak gözlemci olabilme durumu, nesnelliğin temel tanımı gibi görünüyordu. Bohr'un bakış açısına göre kuantum mekaniği, bu tanımın hatalı olduğunu gösteriyordu. Kuantum dünyasında hiçbir deney sonucu, nesnelerin bağımsız özellikleri hakkında bilgi veriyor olarak yorumlanamaz. Her sonuç, nesne ile etkileşim haline olan ölçüm cihazının da parçası olduğu bir durum tanımı ile doğal olarak bağlantı içindedir.[29] Bilim insanları dahi, cihazı kullanan ve sonuçları başkasına aktaran bir deneycinin bakış açısından düşünmek zorundadır. Bu nedenle nesnellik, her bir deneycinin prensip olarak görebileceği şey anlamına gelmektedir.

Kuantum mekaniğinin temelleri konulu Goldhaber'in dersinde ve kendi aramızda yaptığımız tartışmalarda Bohr'un tamamlayıcılık ilkesini tarif etmek için yeni bir yöntem geliştirdik. Klasik fizikte parçacık ve dalga fenomenlerinin her ikisi tam ve kesin tarifler ortaya koyar. Bu sayede prensip olarak sınırsız doğruluk hassasiyetine sahip gözlemler yapabilir ve bu gözlemleri daha sonra yapılacak yine sınırsız doğruluk hassasiyetine sahip başka gözlemleri öngörmek için kullanabiliriz. Parçacıkların kuantum mekaniğinde ise, her biri bir defada ele alındığında, dalga fonksiyonunun zaman içindeki gelişimini

29 Niels Bohr, "Natural Philosophy and Human Cultures", *Collected Works* içinde, Cilt 10, s. 89.

sonsuz hassasiyet ile öngörebiliriz. Ancak bu dalga gözlenebilen bir şey değildir. Söz konusu dalga kompleks bir büyüklüktür ve kompleks büyüklükler tanım itibariyle gerçek değildir ve dolayısıyla da gözetlenemez. (Onları gözleyemiyorsak bu dalgaların var olduğunu nereden biliyoruz? Tespit edilen çok sayıda parçacığın geride bıraktığı desenlere bakarak var oldukları çıkarımında bulunuyoruz. Yani parçacıklar, ormanın varlığını bize gösteren ağaçlar gibidirler). Diğer taraftan parçacıklar ise gözlenebilirdir (örneğin bir fotoğraf plakası üzerinde bir noktaya çarpan foton gibi) fakat hareketleri doğrudan öngörülebilir değildir. Bunun yerine dalga fonksiyonunun karesi, söz konusu parçacığı belli bir mekân bölgesi içinde bulma olasılığını verir bize. Parçacık ve dalga özelliklerinin tamamlayıcılığı, kuantum mekaniğinin bu iki tanımı birleştirdiğini söylemek suretiyle ifade edilir. Ancak bu tarife dalganın sadece öngörülebilir olma özelliği ve parçacığın da sadece gözlenebilir olma özelliği dahildir.

Bu gerçeğin en ünlü ve en etkileyici örneği çift yarık deneyidir. Bu deney, Fizik dünyası 2002'de Robert Crease tarafından yapılan bir oylamada "bilimdeki en güzel deney" olarak seçilmiştir. Bu deneyde elektronlar, üzerinde yan yana iki yarık bulunan bir engele doğru tek tek gönderilir ve engelin ardında tespit edilir. Söz konusu engeli tek tek geçtikleri halde ardından tespit edildiklerinde, yarıklardan birbiriyle girişim yapan dalgalar şeklinde geçmiş oldukları görülür. Sadece detektöre eriştiklerinde parçacık haline gelmişlerdir. Richard Feynman, bu deney kuantum mekaniğindeki yegâne gizemi gözler önüne serer demiştir. Crease'in oylamasına katılanlardan biri şöyle yazmıştır:

> Deneyi Edinburgh Üniversitesi'nde bir ders sırasında gördüm. Profesör bizlere ne olacağını önceden söylemedi ve sonuçta etkisi büyük oldu. Deneysel detayları artık tam olarak hatırlamıyorum. Noktacıkların dağılımının bir girişim deseni oluşturacak şekilde bir düzen oluşturduğunu gördüğümü hatırlıyorum. Bir sanat şaheserinin sizi esir alması gibi esir alıcı bir durumdu. Çift yarık deneyinin gerçekleştirilmesini izlemek tam Güneş tutulmasını ilk defa izlemek gibi bir şeydir. İlkel bir heyecan içinizi kaplar ve kollarınızdaki tüylerin ürperdiğini hissedersiniz. Tanrım, bu parçacık-dalga şeyi gerçekten doğruymuş dersiniz ve bildikleriniz temelden sarsılır.[30]

Bütün bunları bir cümle ile özetleyebiliriz: John Wheeler Einstein'ın genel rölativite teorisini (kütle çekimi ve parçacık hareketi teorisi) "Madde uzaya nasıl eğilmesi gerektiğini söyler ve uzay da maddeye nasıl hareket etmesi gerektiğini söyler" cümlesi ile özetlemiştir. Buradaki örneğimizde ise "parçacıklar (yani parçacıkların gözlenmesi) dalgalara ne zaman ve nerede başlamaları (veya bitmeleri) gerektiğini söylerken dalgalar da parçacıklara nerede olmaları gerektiğini söyler."

30 R. Crease, "The Most Beautiful Experiment", *Physics World*, Mayıs 2002, s. 17; "The Most Beautiful Experiment", *Physics World*, Eylül 2002, s. 17-18; "The Only Mystery: The Quantum Interference of Single Electrons", R. Crease (der.), *The Prism and the Pendulum: The Ten Most Beautiful Experiments in Science* içinde, Random House, New York, 2003, s. 191-205 (the respondent's quote is on p. 191). YouTube'da "Dr. Quantum" çift yarık deneyinin güzel bir videosunu gösteriyor.

DOKUZUNCU BÖLÜM

Zar Atmak Yok



Hayıııır!!!!!!!!! Olamaz !!!!!!!!!
Bu, kuantum teorisinin birbiri ardına ortaya çıkan özelliklerine bazı önde gelen fizikçilerin verdiği tepkiydi; süreksizlik, sıçramalar, rastgelelik, kimlik, dalga-parçacık şizofrenisi, belirsizlik ilkesi, olasılık dalgası ve tamamlayıcılık. Bilim insanları, bu düşüncelerin tam manasıyla gerçek olmadığını düşündü. Mesele, atom altı dünya hakkında henüz yeterince bilgiye sahip olmayışımızdı. Daha fazlasını öğrendikçe bu tuhaflıklar yok olacak ve Newton dünyası geri dönecekti. Kuantum teorisinin kavramsal gelişiminde çok önemli bir rol oynamış olan Einstein, karşı çıkanların başında geliyordu.

İki nedenden dolayı burada bir ara vermeli ve bu kararlı direniş hakkında konuşmalıyız. Birincisi, bu direnç hareketi Schrödinger'in kedisi ve paralel evrenler gibi keşfedilmeyi bekleyen bazı kuantum kavramlarının geliştirilmesinde önemli rol oynamıştır. İkincisi, bu hareket de kültürel anlamda bir etki meydana getirmiştir. Ancak dikkat! Einstein'ın zekice itirazlarını irdelemek bazı teknik detaylara girmeyi gerektiriyor.

ASLA

Fizikteki pek çok ilke şöyle bir forma sahiptir: Bu şekilde bir şey yaparsanız şu şekilde bir sonuç elde edersiniz. Örneğin Newton'un ikinci hareket yasası,

belli bir kütlenin ivmesi ona uygulanan kuvvet ile doğru orantılıdır der. Bu tür prensipler aynı zamanda pratik anlamdaki olanaksızlıkları da ima eder; şu olmadığı sürece bunu yapamazsınız.

Birkaç başka ilke ise farklı bir kategoride yer alır. Bunlar, "bu olay meydana gelemez" der. Bu tür ilkeler fiziksel imkânsızlık ima eder. Söz konusu şeyin olması mümkün değildir.

Bu tür ilkelerin bilindik örneklerini termodinamiğin üç yasasında görürüz. Birinci yasa, enerjinin yoktan var edilemeyeceğini veya yok edilemeyeceğini söyler (enerji bakımından söylersek, "kazanmanız mümkün değil; en fazla başa baş gelirsiniz"). İkinci yasa ise birçok farklı formda ifade edilebilir. Örneğin ısı, soğuk bir cisimden sıcak bir cisme transfer edilemez veya kapalı bir sistemin entropisi her zaman artar (mutlak sıfır sıcaklık noktası hariç başa baş gelemezsiniz). Üçüncü yasa ise tamamen son noktayı koyar (mutlak sıfır sıcaklık noktasına asla erişemezsiniz). Diğer örnekler ise mutlak hızın tespit edilmesinin imkânsızlığı ve ışıktan hızlı gitmenin yasaklanmış olması gibi rölativite ilkeleri ve Heisenberg'in belirsizlik ilkesini içerir.

Bu tür ilkeler fizik biliminde her zaman yenilikleri temsil etmez fakat var olan başka ilkeler ile elde edilen çıkarımlar şeklinde karşımıza çıkar. Heisenberg'in belirsizlik ilkesi buna bir örnektir. Çünkü bu ilke esrarengiz $pq - qp = Ih/2\pi i$ denkleminin bir sonucudur. Ancak farklı olan şey onun formudur. Çünkü provokatif bir forma sahiptir. Bir şeyin fiziksel olarak imkânsız olduğunu söylemek, fizikçileri itiraz etmeye ve bu iddianın açığını aramaya iter.

Elli sene önce matematikçi ve bilim tarihçisi Edmund Whittaker, bir şeyi başarmak için sonsuz değişik şekilde denemeler yapmak mümkün olduğu halde onu başarmanın imkânsız olduğunu iddia eden "etkisizlik postulatlarına" atıfta bulunmuştur. Whittaker, "Bir etkisizlik postulatı herhangi bir deneyin veya sonsuz sayıda deneylerin doğrudan sonucu değildir; herhangi bir ölçümden, sayısal ilişkiden veya analitik bir denklemden bahsetmez; bu postulat, bir şeyi başarmak için yapılacak bütün çabaların başarısızlığa mahkûm olduğunu söyleyen bir kanaat ifadesidir" demiştir.[1]

Etkisizlik postulatları, ne deneysel gerçeklere ne de tanımı itibariyle doğru olan matematiksel ifadelere benzerlik gösterir. Ancak bilim için temel öneme sahiptirler. Whittaker, "Termodinamik, ortaya koyduğu etkisizlik postulatlarından (enerjinin ve entropinin korunumu) elde edilen bir çıkarımlar dizisi olarak kabul edilebilir" demiştir. Whittaker, uzak gelecekte her bir

1 Edmund Taylor Whittaker, *From Eudid to Eddingtom A Study of Conceptions of the Paternal World*, Cambridge University Press, Cambridge, 1949, s. 59-60.

bilim dalının (Öklit'in elementleri tarzında) kendine ait etkisizlik postulatları temelinde ortaya konmasının mümkün olabileceğini iddia etmiştir.

İmkânsızlıkların fiziği pek çok değişik isim ile anılır. "Unut gitsin" fiziği bunlardan biridir; "Asla" fiziği ise bir diğeridir. Asla fiziği önemlidir çünkü muhalifleri kendine çeker. Sonsuz hareket makineleri icat ederek termodinamiğin yasalarını delmeye çalışan bitmek bilmeyen sahtekâr ve naif çabalardan söz etmiyoruz. Tersine, asla fiziğini fizikteki açıkları bulma çabası olarak gören ciddi fizikçilerden bahsediyoruz. Bu açıkları aramak suretiyle nihayetinde fizik biliminin temellerini sağlamlaştırmışlardır.

Bu türden muhalif fiziğin ünlü bir örneği, izole edilmiş bir kutuyu ikiye ayıran bir bölmede bulunan kapıyı açıp kapayan küçük bir yaratığı hayal eden James Clerk Maxwell'in düşünce deneyidir. Sonrasında "Maxwell'in cini" diye isimlendirilen bu yaratık, söz konusu kapıyı açıp kapamak suretiyle bütün hızlı hareket eden moleküllerin bölmenin bir tarafına geçmesine müsaade eder. Bu şekilde ısı enerjisinin söz konusu tarafa akmasını sağlamak suretiyle termodinamiğin ikinci yasasını ihlal etmiş olur. Bu düşünce deneyinin tartışılması o zamanlar henüz esrarengiz bir kavram olan termodinamiğin açıklığa kavuşturulmasına yardım etmiştir.

Muhalif fizikçiler belirsizlik ilkesinin hem keşfedilmesinde hem de yorumlanmasında ayrıca rol oynamıştır. 1926'da Werner Heisenberg, fizikçilerin zaman ve mekân gibi klasik özellikleri gözleme umudundan tamamen vazgeçmesi gerektiğini söyleyerek atom fiziğinin salt formal bir yaklaşımı olan yeni matris mekaniğini tanıtıyordu. Alman fizikçi Pascual Jordan, bu iddiaları bertaraf etmek için bir fikir deneyi ortaya atmak suretiyle muhalifi oynadı. Jordan, bir mikroskobu mutlak sıfır noktasına kadar dondurduğumuzu kabul edelim dedi. Bu durumda bir elektronun kesin konumunu veya kuantum sıçramasının gerçek süresini ölçmek mümkün hale gelir dedi. Bu fikir deneyi Heisenberg'i, gözlemci cihaz ile gözlenen olay arasındaki etkileşimi düşünmeye iterek belirsizlik ilkesini keşfetme sürecine koydu. Muhalif Jordan, Heisenberg'i felsefi düşünmek yerine operasyonel düşünmeye ve olayın fiziğini netleştirmeye itti.

Kuantum mekaniği ortaya çıktıktan sonra bu teorinin, Newton yasalarına göre davranan bilindik dünya ile nasıl bağdaştırılabileceği 20. yüzyılın en büyük entelektüel meselelerinden biriydi. Bohr, Heisenberg, Born ve diğerleri tarafından geliştirilen genel strateji Kopenhag yorumu olarak anılır. Bu yorum, biri kuantum ve diğeri de klasik olmak üzere dünyayı iki farklı temel alana ayırır. Kuantum dünyası, Schrödinger'in denklemi ile tanımlanan ve

bizlere belirli gerçek durumların ortaya çıkma olasılıklarını veren fakat kendisi somut veya gözlenebilir olmayan bir alan veya bir dalga tarafından yönetilir. Bu kuantum dalgası, bir ölçüm veya başka bir etkileşim vasıtasıyla klasik dünyada bir nesne ile karşılaştığında, söz konusu dalgayı yok eder veya onu "çökertir". Gözlenen tek bir durum dışında diğer olasılıklar bertaraf olur. Kopenhag yorumuna göre gözlem veya ölçüm eyleminden önce dünya hakkında bilebileceğimiz nihai bilgi bir dizi olasılıktan ibarettir.

Bu yorum o denli tuhaftır ki en başından beri pek çok muhalife ilham kaynağı olmuştur. İlk, en ünlü ve entelektüel anlamda en güçlü muhaliflerden biri Albert Einstein idi. Einstein'ın itirazları çoğu zaman yaşlı ve inatçı bir adamın eski klasik determinizme olan nostaljik bağı şeklinde hatalı şekilde portre edilir. Ancak gerçek bundan çok daha ötedir. Einstein, realizm yönünde bütünüyle felsefi bir tavır ortaya koymuştur. Realizm, dünyada nesnelerin insan eyleminden ayrı, insan düşüncesi ve algısından bağımsız bir gerçekliğinin olduğunu ve bilimsel teorilerin ancak bu düşünceyi takip etmesi halinde doğru olarak kabul edilebileceğini savunur.[2] Einstein, realizmi savunmak suretiyle muhalif rolünü üstlenmiş (Bohr ise en büyük rakibi olmuştur) ve bir parçacığın konum ve momentumunu, bu özelliklerin onları nasıl ölçtüğümüzden bağımsız halde bir gerçekliğe sahip olduğunu kabul ederek, aynı anda tespit etmeyi amaçlayan akıllıca metotlar geliştirmeye çalışmıştır. Bütün bu çabaları başarısız olduğu halde provoke ettiği tartışmalar kuantum mekaniğinin doğasını ve sonuçlarını anlama yolunda fizikçilere yardımcı olmuştur.

MUHALİF EINSTEIN

Einstein, itirazlarını erken aşamalarda ve sıklıkla dile getirdi. 1916'daki kuantum makalelerinde, temel parçacıkların yönü ve zamanını şansa bırakıyor olmasının kendi teorisine ait bir zayıflık olduğunu yazdı. Fakat buna rağmen ortaya attığı düşüncelere tam güveni olduğunu ifade etti. Ancak bu güven biraz isteksiz bir güvendi. Einstein sekiz yıl sonra, enerjinin korunumu kuralını terk etmek suretiyle dalga teorisini muhafaza etmeye çalışmış ancak başarısız olmuş Bohr-Kramers-Slater (BKS) teorisine tepki olarak Bohr'a şöyle yazdı: "Bugüne kadar savunduğumdan daha güçlü bir şekilde savunmadan kesin nedenselliği terk etmeye zorlanmak istemiyorum. Işımaya maruz bırakılmış

2 Don Howard, "'Nicht Sein Kann Was Nicht Sein Darf,' or The Prehistory of EPR, 1909-1935: Einstein's Early Worries about the Quantum Mechanics of Composite Systems", *Sixty-Two Yeats of Uncertainty Historical Philosophical and Physical Inquiries into the Foundations of Quantum Mechanics* içinde, Arthur Miller (der.), New York, Bahar 1990, s. 61-111.

bir elektronun, sadece ne zaman sıçrama yapacağını değil aynı zamanda sıçrama yönünü dahi özgür bir irade ile seçebiliyor olması düşüncesini kabul edilebilir bulmuyorum. Böyle bir durumda fizikçi olmak yerine bir ayakkabı tamircisi veya hatta kumarhanede çalışan biri olmayı tercih ederim."[3] Einstein, Heisenberg ve Schrödinger'in kuantum dünyasına ait iki haritayı üretmesinin ardından iki yıl sonrasında Born'a çok etkilendiğini yazdı ve "içimden bir ses gerçek olana henüz erişmediğimizi söylüyor" diye ekleyerek söz konusu teorinin bizi "ihtiyarın" (Tanrı'nın) sırlarına daha da yaklaştırmadığını söyledi. Ardından Einstein günümüzde ünlü olmuş ve çokça tekrar edilen sözünü söyledi: "Her yönüyle ikna oldum ki Tanrı zar atmaz." Bu sözüne günümüzde "evrenle zar atmaz" diye ekleme yapılır (ancak Einstein evren kelimesini kullanmamıştır). Einstein iki yıl sonra Sommerfeld'e, Heisenberg-Dirac teorisinin gerçeklik kokusu taşımadığını yazdı.[4]

Bir sonraki yıl, 1927'de, hem Newton'un ölümünün iki yüzüncü yıl dönümüydü hem de belirsizlik ilkesinin ortaya çıktığı seneydi. Bu gelişme, kuantum mekaniğinin epistemolojik bir kriz doğurduğunu artık reddedilemez hale getirdi ve bu yeni düzenin felsefi sonuçlarının ilk ciddi incelemesini de beraberinde getirdi. Fakat Einstein halen eskinin yeniden inşa edilebileceği umudunu taşıyordu. Mart ayında *Nature* dergisinde yayınlanan makalesinde şöyle yazdı:

> Sadece kuantum teorisinde Newton'un diferansiyel metodu kullanılmaz hale geliyor ve kesin nedensellik gerçekten artık işimize yaramıyor. Ancak bu konuda son söz henüz söylenmedi. Newton'un metodunun ruhu bizlere fiziksel gerçeklik ile Newton'un öğretisinin en önemli karakteristiği olan kesin nedensellik arasındaki birliği yeniden inşa edecek gücü versin.[5]

Sonraki birkaç yıl boyunca Einstein var gücüyle bu birliği yeniden inşa etmek için çabaladı.

GERÇEĞE DÖNÜŞ

Einstein'ın çabası birkaç aşamada gelişti. Bütün bu süreç içinde Einstein, yapısına değer verdiği ve temelini teşkil eden deneysel gerçekleri takdir ettiği kuantum mekaniğinin dürüst bir muhalifi oldu. Bilimsel gerçeklerden yüz çevi-

3 Einstein'dan Hedwig Born'a, 29 Nisan 1924, *The Born-Einstein Letters* içinde, Max Born (der.), Walker & Co., New York, 1971, s. 82.

4 Quoted in Lindley, *Uncertainty*, s. 133.

5 *Nature*, 26 Mart 1927, s. 467.

ren bir inkârcı olmadı. Başarılı olabilmek için daha kapsamlı ve tam nedensellik içeren bir metot bulmak zorunda olduğunu biliyordu ve argümanlarını buna göre ortaya koydu. Her bir aşamadaki fikirlerini bir düşünce deneyi etrafında şekillendirdi. Düşünce deneylerini Einstein icat etmemişti (örneğin Galileo da hayal gücü yüksek bir düşünce deneycisiydi) ancak onları en ileri seviyede kullanan kişiydi. İlk ve en ünlü düşünce deneylerini henüz onlu yaşlardayken geliştirmişti. Işık dalgasının üstünde yolculuk eden bir ışık sörfçüsü olduğunu hayal etmişti. Bu durum, ışık dalgasını durağan halde gözleyebilmek anlamına geliyordu ancak Maxwell'in denklemleri ışığın, nasıl gözlendiğine bakılmaksızın boşlukta her zaman ışık hızıyla ilerlediğini garanti ediyordu. Einstein, özel rölativite teorisini bu çelişkiyi çözecek şekilde şekillendirdi. Kuantum teorisine hücum eden düşünce deneyleri hayal gücü bakımından bundan aşağı kalır değildi.

Grup Yorumu

Birinci aşama 1927'de Heisenberg'in belirsizlik ilkesini ortaya atmasından sonra başladı. Einstein, aynı yılın Mayıs ayında Prusya Bilimler Akademisi'ne "Schrödinger'in Dalga Mekaniği Bir Sistemin Hareketini Tamimiyle mi Yoksa İstatistiksel Olarak mı Tanımlar?" başlıklı bir makale sundu. Makalenin günümüze kadar korunmuş olan nüshasında görüldüğü gibi Einstein, "Determinizme uyan hareketlerin Schrödinger'in diferansiyel denklem çözümlerine uygulanmasının" klasik mekaniktekine benzer şekilde mümkün olduğu yönündeki düşüncesini sürdürmüştür.[6] Görünüşe göre Einstein, buna benzer bir düşünceyi Ekim 1927'de Brüksel'de yapılacak beşinci Solvay konferansında sunmaya niyetlenmişti. Ancak sonrasında makalesini yayından çekti (büyük ihtimalle Heisenberg'in eleştirilerinden dolayı) ve Brüksel'de herhangi bir sunum yapmayacağını duyurdu.

Einstein Eylül ayında yapılan ve Bohr'un tamamlayıcılık hakkındaki düşüncelerini ortaya koyduğu Como konferansına gitmedi. Ancak bir ay sonra yapılan beşinci Solvay konferansına (1927) katıldı. Born ve Heisenberg'in kuantum mekaniği, de Broglie'nin pilot dalga teorisi, ve Schrödinger'in dalga mekaniği de dahil olmak üzere birbirine muhalif bir dizi düşüncenin sunulduğu bu konferans "kuantum teorisi tarihinde yapılmış belki de en önemli toplantı" olarak anıldı.[7] Louis de Broglie, Einstein'ın düşünceleri-

6 Guido Bacciagaluppi ve Antony Valentini, *Quantum Theory at the Crossroads: Reamsidering the 1927 Solvay Conference*, Cambridge University Press, Cambridge, 2009, s. 234, 237.

7 *A.g.e.*, s. i.

ne yakınlık duydu ve yaptığı resmi sunumda kuantum mekaniği için alternatif bir düşünce sundu. Bu düşünce, Schrödinger'in denkleminin yönlendirici bir pilot dalgaya karşılık gelebileceğini önermek suretiyle determinizmi yeniden tesis ediyordu. Bu pilot dalga sayesinde parçacıkların hareket yörüngeleri bazı ek bilgiler ile kesin belirlenebilir hale getirilebilirdi.[8] Einstein resmi bir sunumda bulunmadı ancak genel tartışmalar sırasında kuantum mekaniğine olan itirazlarını dile getirdi. "Kuantum mekaniğinin özüne yeterince derin şekilde inmemiş olduğum gerçeğinin farkında olsam da yine de burada bazı genel düşünceler dile getirmek istiyorum" demek suretiyle mütevazı bir giriş yaptı.[9] Ortasına küçük bir delik açılmış bir ekran şekli çizdi. Ekranın arkasında fotoğraf filminden yapılmış bir yarı küre vardı. Ekrana çarpan elektronların bir kısmı bu küçük delikten geçerek saçılıyor ve her yöne doğru eşit dağılımla yayılıyordu. Bu hareketin dalga fonksiyonunun Ψ ile gösterildiğini düşünelim.

Einstein, burada olan olayı iki şekilde düşünebiliriz diye devam etti. Bohr, Heisenberg ve diğerlerinin düşündüğü şekliyle kuantum mekaniğine göre Ψ fonksiyonu her bir münferit olayın tam tanımını içerir (örneğin tek bir elektronun başından geçenler). $|\Psi|^2$ ifadesi ise elektronun belli bir zamanda ekran üzerinde belli bir noktada tespit edilme olasılığını temsil eder. Einstein, elektronun ekran üzerinde birden fazla noktada bulunma olasılığının mümkün olduğunu söyledi. "Ancak bir noktada olduğu görülürse, bu durum elektronun başka bir noktada ortaya çıkmasını engeller. Bu süreç, uzaktan etkiyebilen tuhaf bir mekanizmanın varlığını kabul eder. Bu mekanizma, mekâna sürekli olarak yayılmış halde olan dalganın ekran üzerinde iki farklı noktada bir eylem yapmasını engeller" dedi.[10] Yani burada gerçekleşen bir eylem, başka bir yerde bir eylemin gerçekleşmesini imkânsız hale getirmiş olur.

Einstein, bu sakıncalı mekanizmayı bertaraf edebiliriz diyerek devam etti. Farz edin ki Ψ fonksiyonu her bir münferit parçacığa ne olduğunu değil, fakat parçacıklardan oluşan bir grubun veya bir bulutun başından geçenleri tanımlıyor olsun. Bu durumda söz konusu teori, termodinamikte olduğu gibi tamamlanmamış bir teori haline gelir. Çünkü bu durumda söz konusu teori, tek bir olayı değil, fakat büyük miktarda olayların ortalamasını tarif etmiş olur. Bundan daha detaylı bir teori ortalama davranışı tarif etmek yerine parçacıkların spesifik hareketlerini tarif etmeyi başarabilir.

8 *A.g.e.*, Ch. 2.
9 *A.g.e.*, s. 440 vd.
10 *A.g.e.*, s. 175-76.

Bohr, yardımsever kişiliğinden olsa gerek, Einstein'ın ifadelerinin kafa karıştırıcı olduğunu söyledi. "Einstein'ın söylemeye çalıştığı şeyin tam olarak ne olduğunu anlamadım" dedi.[11] Bohr'un kafasının karışmış olması belki makul bir durumdu. Pilot-dalga benzeri bir teori ortaya koymak yerine Einstein daha farklı bir yaklaşım getirmeye çalışıyordu. Bohr'un kuantum teorisinin tamamlanmış bir teori olduğuna yönelik iddia, uzak mesafeden etkilerin varlığını kabul etmek anlamına geliyordu. Sonradan "ayrılmazlık" veya "dolanıklılık" olarak isimlendirilen bu etki, burada olan bir olayın uzakta başka bir yerde olan bir olayı anında etkileyebileceğini ima ediyordu. Başka bir deyişle ifade edecek olursak, eylemin lokal olmadığını ve çok uzak mesafelerle ayrılmış farklı yerlerde anında gerçekleşebileceğini söylüyordu.

Bohr kısa bir süre sonra Einstein'ın ne demek istediğini çok daha detaylı bir şekilde anlayacaktı. 1927'de Solvay konferansında yaşanan bu diyalog, Einstein ve Bohr arasında uzun sürecek olan ve günümüzde ün kazanmış olan bir tartışmanın başlangıcıydı. Bu tartışma önceleri kişisel diyaloglar ile başlamış ve sonrasında herkesçe duyulmuştu. Einstein ve Bohr hayatlarının geri kalanında tartışma ortağı olmuşlardı.

Einstein'ın grup yorumu olarak adlandırılabilecek bu konu hakkında Bohr kara kara düşünmeye başladı. Söz konusu yorum çoğunlukla istatistiksel bir yorum olarak da anılır. Ancak Born'a ait olan kuantum mekaniğinin tamamen farklı bir yorumuna da aynı isim verildiğinden dolayı karışıklığa meydan vermemek adına grup yorumu demeyi tercih ediyoruz. Ayrıca Einstein'ın esas vurgulamaya çalıştığı mesele istatistik değil fakat Bohr'un teorisinde mekân içinde uzakta iki ayrı nesneyi veya nesnelerin özelliklerini birbiri ile bağlantılı olarak kabul eden ayrılmazlık meselesiydi. Einstein, bunun teoriye ait istenmeyen bir özellik olduğu ve teorinin tamamlanması halinde bertaraf edilebileceği konusunda emindi. Sonraki birkaç yıl boyunca Bohr, Einstein'ın düşüncelerine karşı görüşler ortaya koymaya devam etti.

Foton Kutusu Deneyi

Einstein'ın çabalarının ikinci aşaması 1930'da yapılan altıncı Solvay konferansında gerçekleşti. Konferansın konusu normalde manyetizma idi ancak bu katılımcıları ilgi duydukları konuları tartışmaktan alıkoymadı. Einstein kahvaltıya kuantum mekaniği ile ilgili itirazlarını getirirken, Bohr bunlar hakkında düşünüp aksam yemeğine cevapları ile dönüyordu.

11 Bacciagaluppi ve Valentini, *Quantum Theory*, s. 442.

Einstein öyle bir fikir deneyi ortaya atmıştı ki görünüşe göre bir fotonun kesin enerjisini ve bu enerjinin ölçüldüğü kesin zamanı aynı anda gösterecek bir numara yapmak mümkündü. Enerji ve enerjinin ölçüldüğü zaman arasındaki ilişki için de geçerli olan belirsizlik ilkesine göre böyle bir şey imkânsızdı. Söz konusu deneyde ağırlığı dikkatlice ölçülen bir kutu ele alınır. Kutuda var olan ve çok kısa bir süreliğine açık bırakılan bir kapaktan bir fotonun kaçmasına müsaade edilir. Fotonun kutudan kaçtığı kesin zaman anı kapağı kontrol eden bir saat tarafından tam olarak tespit edilebilir. Kaçan fotonun kesin enerjisi ise öncesi ve sonrasında kutunun ağırlığı ölçülerek tam olarak tespit edilebilirdi. Einstein'a göre böyle bir düzenek, enerji-zaman belirsizlik kuralını ihlal ederek, deneyi gerçekleştiren kişinin fotonun enerjisini ve kutudan kaçtığı anı birlikte ölçebilmesini mümkün kılmalıdır.[12] O gün orada bulunan bir fizikçi konuyla ilgili şöyle yazmıştır:

> Bu Bohr için büyük bir şok oldu... ilk başta çözümü göremedi. Bütün gece boyunca oldukça mutsuzdu. Bir kişiden diğerine giderek bunun mümkün olamayacağına dair ikna etme çabası içindeydi. Einstein haklıysa bu fiziğin sonu demek olurdu. Ancak karşı bir fikir üretmeyi başaramamıştı. Bu iki rakibin kulübü terk edişini hiçbir zaman unutmayacağım. Yüzünde alaycı bir gülümseme ile sessizce yürüyen uzun asil Einstein ve yakınında aceleyle yürüyen heyecanlı Bohr... Ertesi sabah Bohr'un zaferi geldi.[13]

Bohr, Einstein'ın fikir deneyini belirsizlik ilkesini mağlup etme çabası ve doğayı fotonun enerjisini ve enerjinin ölçüldüğü zaman anını açığa vurmasını sağlayacak şekilde kandırma çabası olarak yorumladı. Bohr'un getirdiği itiraz, kutunun ağırlığını ölçmenin kütle çekimine karşı dengeleme yapacak yaylar kullanmayı ve kutunun düşey yönde konumundaki değişimi çok doğru bir şekilde tespit etmeyi gerektireceği ve bunun ise kutunun düşey yöndeki momentumunda bir belirsizliği beraberinde getireceği gerçeğini içeriyordu. Bu ise zamanın akış hızında bir kayma anlamına geliyordu (Einstein'ın kendi genel rölativite teorisinin temel özelliklerinden biri olan "kütle çekimsel kırmızıya kayma" kuralına göre). Bütün bu etkiler bir arada düşünüldüğünde fotonun enerjisi için ve foton salınım zamanı için gerekli olan belirsizlik elde ediliyordu.

12 Bacciagaluppi ve Valentini, *Quantum Theory*, s. 247-82.
13 Leon Rosenfeld, Pai'den alıntı, *Niels Bohr's Times*, s. 446-47.

EPR Makalesi

Einstein pes etmedi. Şubat 1931'de *Physical Review* dergisinin editörüne, Richard Tolman ve Boris Podolsky ile beraber kaleme aldığı "Kuantum Mekaniğinde Geçmiş ve Gelecek Bilgisi" başlıklı kısa bir yazı gönderdi. Bu yazı, yine bir fikir deneyi ile belirsizlik ilkesine vurulan bir başka darbeydi. Belirsizlik ilkesini kabul etmek, yerellik ve ayrılabilirlik olarak bilinen iki önemli özelliğin terk edilmesi anlamına geliyordu. "Kuantum mekaniği ilkelerinin, bir parçacığın gelecekte takip edeceği yörüngeyi kesin olarak tespit etme olanağına sınırlama getirdiği bilinmektedir. Ancak parçacığın geçmişteki yörüngesinin kesin olarak bilinmesine kuantum mekaniğinin müsaade ettiği kabul edilmektedir." Makalede yazarlar, bir parçacığın geçmişteki yörüngesinin bilinme olanağının, kuantum mekaniği müsaade etmediği halde ikinci bir parçacığın gelecekteki yörüngesinin de bilinebilir hale gelmesine yol açacağı gerçeğinin basit ve ideal bir fikir deneyi ile gösterilebileceği ifade edilmişti. Makale, kuantum mekaniğinin yanlış olduğunu söylemiyordu ancak belirsizlik ilkesinin beraberinde kabul edilmez sonuçlar getirdiğini söylüyordu. Yani geçmişe yönelik olarak dahi kesin bilinebilirdik söz konusu olamazdı.[14]

Einstein, makalenin gönderilmesinden sonra konuyla ilgili sesini duyurmaya başladı. Bir *New York Times* muhabirine "biliyorum söyleyeceklerim bir bunaklık belirtisi olarak yorumlanacak" demiş ve "ancak nedensellik tekrar tesis edilecek ve günün birinde bilim insanları bir kez daha onu doğanın vazgeçilmez bir parçası olarak tanıyacak" diye eklemişti. Einstein "günümüzdeki matematiksel denklemlerin olası doğruluğu bu yeni düşüncelerin halen eksik olduğunun işareti olabilir sadece" demiş ve şöyle devam etmişti: "Kuantum mekaniğinin istatistiksel karakterinin, doğal olmayan izahlara neden olduğundan dolayı nihayetinde ortadan kalkacağını düşünüyorum. Çünkü bu istatistiksel karakter, doğayı tarif etmek yerine beklentileri tarif eder. Oysa bilimin amacı, nesnelerin kendisini tarif etmektir, sadece onlara olacakların olasılığını tarif etmek değil."[15]

Nesnelerin kendisini tarif etmek! Einstein ve Bohr nesnelerin doğası hakkında sıkça tartışıyordu. Nesneler zaman ve mekân içinde her zaman lokalize olmak zorunda mıydı? Lokalize olamayacak şeylerin varlığı da mümkün müydü? Mümkünse bunlar ne tür şeyler olabilirdi?

14 A. Einstein, R. Tolman ve Boris Podolsky, "Knowledge of the Past and Future in Quantum Mechanics", *Physical Review* 37, 1931, s. 780-81.

15 "Einstein Affirms Belief in Causality", *The New York Times*, 17 Mart 1931, s. 13.

Ertesi gün *Times* dergisi Einstein'ın "muhafazakârlığı" ile ilgili bir yorum yazısı yayınladı. Editörler, Einstein'ın kuantum teorisine yönelik muhalefetinin tamamen doğal bir antipatiden kaynakladığını yazdı. Bilim insanları genelde antipati ile motive olmazlar ve elbette Einstein bunak olarak etiketlenmek istemez. *Times* dergisi, kuantum mekaniğine yönelik tepkilerin "insani" tepkiler olduğu itirafında bulundu. Burada açıkça ters olan bir şeyler vardı.[16]

1932'de *Kuantum Mekaniğinin Matematiksel Temelleri* isimli bir kitapta matematikçi John von Neumann, saklı değişkenler düşüncesine dayalı bir kuantum mekaniği teorisine yönelik bütün olasılıkları bertaraf ediyor görünen bir teoremin kanıtını öne sürdü. Buradaki "saklı değişkenler" ifadesi, henüz bilmediğimiz ancak keşfedilmeleri halinde kuantum mekaniğinin merkezi rol oynadığı deneylerin sonuçları için sadece olasılıkların elde edilmesini değil fakat kesin öngörülerin yapılmasını mümkün kılacak değerlere verilen isimdir. Görünüşe göre kuantum mekaniği, üzerinde daha fazla çalışmayı gerektiren geçici bir teori değildi. Aksine, bilme imkânımız olan her şeyi ifade eden bir teoriydi.

Einstein ve birkaç diğer muhalif von Neumann'ın kanıtını önemli bir engel olarak gördü. Einstein, anavatanında Nazilerin iktidarı ele geçirmesinin ardından Amerika Birleşik Devletleri'ne gitmek üzere Almanya'yı terk etti. Princeton'da bulunan İleri Araştırmalar Enstitüsü'ne yerleşti ve yenilenmiş bir hırsla Princeton'daki diğer iki fizikçiyle beraber (sonrasında Einstein'ın asistanı olan Podolsky ve Nathan Rosen) kuantum teorisinin eksik bir teori olduğunu gösterme çabasına girdi. Gazeteciler, sağlam yanıtlar alacaklarını bildikleri için kuantum mekaniği hakkındaki görüşleri ile ilgili sıkça Einstein ile röportajlar yaptı. Örneğin 1934'te Einstein bir grup gazeteciyle yaptığı toplantıda, belirsizlik ilkesinin genel ölçekte insan hayatına kadar genişletilmesinin, kendi düşüncesine göre, bir zevk meselesi olduğunu söyledi. Bu toplantı hakkında *Times*'ta yayınlanan bir raporda "kendi bakış açısına göre Einstein, doğada ve yaşamda var olan her şeyin neden-sonuç ilişkisine göre yönetildiğine inanmayı tercih ediyor" denildi ve "Einstein gelecekte bilimin kendisini haklı çıkaracağını umuyor" diye eklendi.[17]

Kısa bir süre sonra Einstein, her şeyi tekrar yoluna sokacağını umduğu bir makale yazmaya koyuldu. 4 Mayıs 1935'te *New York Times*, "Einstein Kuantum Teorisine Saldırıyor: Kendisi ve İki Meslektaşı Teorinin Doğru Olduğu Halde Eksik Olduğunu Keşfetti" başlıklı bir yazı yayınladı. Einstein'ın

16 "Conservative Einstein", *The New York Times*, 18 Mart 1931.

17 William L. Laurence, "Einstein Offers New View of Mass-Energy Theorem", *The New York Times*, 29 Aralık 1934, s. 1, 7.

önceki girişimlerinde olduğu gibi bu çalışması da, ölçümden veya gözlemden bağımsız şekilde bir sistemin gerçek durumunun var olabileceği düşüncesinden yola çıkıyordu. Kuantum mekaniği bu şekilde gerçek bir sistem tanımlayamadığı için eksik bir teori olmalıydı.

Einstein, kuantum mekaniğinin bir çeşit harita gibi olduğunu ima ediyordu. Haritalar doğrudur fakat eksiktir. Haritalar size gerçek manzarayı sunmaz. Fakat bunun yerine bir bölgenin soyut resmini sunar. Bu resim, bölgenin toprak özellikleri gibi veya rakımı gibi pek çok bilgiyi dışarıda bırakır. Eğer söz konusu özelliklere daha yakından bakma olanağınız olsaydı, bu durumda harita ile çelişmeden bölge hakkında daha detaylı bir resim oluşturmanız mümkün olurdu. Einstein'ın düşüncesine göre, tıpkı bu örnekte olduğu gibi, atom altı dünyanın altında yatan özelliklere göz atabilseydik, kuantum mekaniği ile çelişmeden Newtonsal sezgilerimize daha uygun bir resim elde etmeyi başarabilirdik.

Einstein'ın yardımcıları Podolsky ve Rosen ile beraber yazdığı makale "Fiziksel Gerçekliğin Kuantum Mekaniksel Tanımı Tamamlanmış Bir Tanım Olarak Kabul Edilebilir mi?" başlığını taşıyordu. Genel olarak EPR makalesi olarak bilinen bu çalışma Mayıs 1935'te yayınlandı.[18] Bu çalışma, tüm zamanların en ünlü bilimsel makalelerinden biri haline geldi. Makale, daha ilk satırında gerçeklik kavramına atıfta bulunur:

> Fiziksel bir teorinin her ciddi incelemesi, teorilerden bağımsız olan objektif gerçeklik ile teorinin işlediği fiziksel kavramlar arasındaki ayrımı hesaba katmalıdır. Bu kavramların objektif gerçeklik ile bağ içinde olması amaçlanır ve söz konusu gerçekliği bu kavramlar vasıtasıyla kafamızda canlandırabiliriz.

Teoriler, resmetme işleminden bağımsız şekilde var olan bir gerçeklik resmeder. Makalede yazarlar, tatmin edici bir teorinin iki soruya cevap verdiğini söyler: 1. "Teori doğru bir teori midir?" ve 2. "Teorinin ortaya koyduğu tarif tamamlanmış bir tarif midir?" Yazarlar 1. soruyla uğraşmayı gerekli görmedi. Çünkü kuantum teorisinin her öngörüsünün deneysel olarak doğrulandığını ve bu konuda bir değişikliğin beklenmediğini herkes biliyordu. Ancak 2. soru hakkında yazarlar, "tamamlanmış olma koşulu" diye isimlendirdikleri durumu şu şekilde tarif ettiler: "Fiziksel gerçekliğin her bir öğesinin söz konusu fiziksel teoride karşılığı olmalıdır". Örneğin bir evin tamamlan-

18 A. Einstein, B. Podolsky ve N. Rosen, "Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?", *Physical Review* 47, 1935, s. 777-80.

mış resminde yer alan her öge evin kendisinde var olan bir şey olmalıdır. Yazarlar, gerçekliğin yeterli fakat tam anlamıyla gerekli olmayan bir tarifini şu şekilde yapmışlardır:

> Eğer bir sistemi hiçbir şekilde etkilemeden bir fiziksel büyüklüğün değerini kesinlik ile öngörebilirsek (yani % 100'e eşit olan bir olasılık ile) bu durumda söz konusu fiziksel büyüklüğe karşılık gelen fiziksel bir gerçeklik öğesi varlık halindedir.

Örneğin bir eve ait tamamlanmış bir resme bakarak, söz konusu resimde yer alan bir öğeye karşılık gelen eve ait bir parçanın nerede olduğunu söyleyebiliyorsak, bu öğe eve ait "gerçek" bir parçadır. Bu çıkarım mantıklı bir çıkarımdır. Ancak kuantum mekaniğinde dalga fonksiyonu Ψ bir parçacığın durumunu tamamıyla karakterize eder. Ψ, parçacığı tarif etmek için kullanılan değişkenlere ait bir fonksiyondur. Ardından makale, bir parçacığa ait momentumun bilinmesi halinde bu defa konumunun herhangi bir fiziksel gerçekliğe sahip olmadığını göstererek devam eder. Bu, Heisenberg'in belirsizlik ilkesinin basitçe yeniden dile getirilmesidir.

Fakat makale, bundan daha fazlasını öğrenebilmeyi mümkün kılacak deneyler oluşturabiliriz iddiası ile devam eder. Farz edin ki momentum ve konum bilgileri birbiri ile bağlantı halinde olan iki elektron üretmiş olalım. Durağan halde bir atomu uyarma işleminin tersi bir işlem ile bu şekilde elektronlar üretmek mümkündür. Bu durumda birincisinin momentumunu ölçmekle ikincisinin de momentumunu bilmiş oluruz ancak bunun yanı sıra ikincisinin konumunu ölçmekle bu defa birincisinin de konumunu bilebiliriz. Bu nedenle her bir parçacığa ait uyumsuz olduğu kabul edilen bu iki büyüklüğün, belirsizlik ilkesine göre EPR makalesinde tanımlandığı haliyle aynı anda gerçek olmaları mümkün olmasa dahi, bilinmeleri mümkün hale gelir. Yazarlar bu argümanı ortaya atmakla, birbirinden bağımsız halde her bir parçacığın var oldukları andan itibaren momentum ve konum bilgisine sahip olması gerektiği yönündeki sağduyuyu yeniden tesis etmeye çalıştılar. Einstein ve yardımcıları gerçeklik tanımının, bu gibi ayrı sistemlerde, varlıkların gözlem ve ölçümden bağımsız olan öğelerin olması gerekliliğine bağlı olduğunu ifade etmiştir. Bu iddia, Bohr, Heisenberg ve ortaklarının söyledikleri ile çelişir! Bu nedenle makalenin başlığında yer alan sorunun cevabı "Hayır" olmalıydı.

Yazarlar, "Bu nedenle, dalga fonksiyonunun ortaya koyduğu fiziksel gerçekliğe ait kuantum mekaniksel tarifinin eksik olduğu sonucuna varmak zorunda kaldık" diye yazdılar. Momentum ve konum, ölçüme bağlı olamaz.

Bu nedenle dalga fonksiyonu, fiziksel gerçekliğe ait tamamlanmış bir tarif sunmamaktadır. Böyle bir tarif sunabilen bir alternatif mevcut mudur? Einstein ve yardımcıları "öyle olduğunu düşünüyoruz" dedi.

Physical Review dergisinin EPR makalesini ihtiva eden sayısı Kopenhag'a geldiğinde Bohr olumsuz tepki göstererek bunu hiç beklenmedik bir gelişme olarak tarif etti. Makaleyi kuantum mekaniğinin temellerine bir tehdit olarak gören Bohr, üzerinde çalıştığı diğer araştırmalarını derhal bırakıp makaleye cevap vermek için altı hafta boyunca yoğun bir şekilde çalıştı. Bu durum Einstein'a, kuantum mekaniksel dalga fonksiyonunun atom altı dünyaya ait temel özellikleri henüz tanımlayamadığı ve sadece bir sistemler topluluğunu tanımladığına dair düşüncenin üzerinde çalışmaya devam etmek için ilham oldu. Einstein bu düşünceyi, nedenselliği ve 1948'de "uzak mesafeden işleyen hayali etki" diye nitelediği yerelsellik meselesine getirdiği itirazı korumak için yaşamının sonuna kadar geliştirmeye devam etti. 1949'da Einstein "günümüzün kuantum mekaniğinin esasını teşkil eden istatistiksel karakteristiğin, bu teorinin fiziksel sistemlere ait eksik bir tarif ile işlediği gerçeğini ortaya koyduğu konusunda gerçekten tamamen ikna oldum" diye yazdı.[19] Bohr, son yirmi yıl boyunca savunduğu düşüncelerin paralelinde cevap verdi: "Bizler kuantum teorisinde, atomların dünyasındaki fenomenlerin daha detaylı şeklide analiz etmeye çalışmaktan vazgeçilmesi gerektiğini söylemiyoruz, böyle bir analizin prensip olarak mümkün olmadığını söylüyoruz." Einstein, gerçeklik anlayışımızın kuantum mekaniğinin eksik olduğu sonucuna yol açtığını iddia etmeye devam ederken Bohr, Einstein'ın gerçeklik anlayışının yanlış olduğunu iddia etmeye devam etti.

GECE DÜŞÜNCELERİ

Değişime direnç gösterip geleneğe sıkıca tutunan karakterlerin yer aldığı hikâyeler ve oyunlar eski çağlardan beri var olmuş ve günümüzde Nijeryalı roman yazarı Chinua Achebe'nin *Her Şey Paramparça* isimli kitabından *Çatıdaki Kemancı* isimli Broadway müzikaline kadar pek çok yerde karşımıza çıkar. Önce Newton mekaniğine tutunup, sonrasında daha doğru bir değerlendirme yapıp kuantum mekaniğine dönmüş olan pek çok bilim insanından (Millikan gibi) söz ettik. Hatta intiharında, fizik dünyasında kuantum mekaniğinden kaynaklanan entelektüel ve kurumsal değişimlerin getirdiği umutsuzluğun kısmen etkili olduğu bir fizikçiyi, Clark Üniversitesi'nden Arthur G. Webster'i gördük.

19 Paul Schilpp (der.), *Albert Einstein, Philosopher-Scientist: The Library of Living Philosophers*, Cilt VII, Open Court, Chicago, 1949, s. 666.

Bu mesele, fizik tarihçisi Russell McCormmach'ın kaleme aldığı *Bir Klasik Fizikçinin Gece Düşünceleri* isimli romanının çekirdek konusudur. Romanın kahramanı Viktor Jacob küçük bir Alman üniversitesinin küçük bir enstitüsünde klasik fizikçidir. 19. yüzyılın ortalarında doğmuş olan Jacob gençliğinde dil araştırmaları, antik edebiyat ve klasikler konusunda derin çalışmalar yapmıştı. Fiziğe olan ilgisi, bu bilim dalının fiziksel gerçekleri az sayıda temel kavramlar ve yasalar ile birbirine bağlıyor olmasından geliyordu. Ancak bütün bunlar artık dağılmaya başlamıştı (fizikçilerin ışık hakkındaki düşünceleri ve bununla beraber bütün her şey). Jacob, "dünya eteri" ismini verdiği ve fiziğin anlaşılabilirliğini yeniden tesis edeceğini umduğu bir fikir ortaya atar. Bu fikri geliştirmek için Planck'ı ziyaret eder. Bu büyük fizikçi kendisine temkinli bir sempati gösterir ve sonunda Jacob'un umutlarını yıkar. Jacob, kişisel yaşamındaki çöküşün Alman akademik yaşamı ile bağlantılı olduğu ve hatta kuantumun icadı ile ilişkili olduğu düşüncesine kapılır. Nihayetinde, Almanya'nın Birinci Dünya Savaşı'ndan mağlup çıkması arifesinde intihar ederek yaşamına son verir.[20]

FEDAKÂRLIK

Heisenberg bir defasında "Neredeyse bütün bilimsel gelişmeler bir şeyleri feda etme bedeli ile gelmiştir. Neredeyse her yeni entelektüel başarı önceki kavramların ve kabullerin terk edilmesini zorunlu kılmıştır. Bu nedenle, bir bakıma, bilginin ve düşüncenin gelişimi, bilim insanlarının doğayı anlama iddiasını her defasında söndürmüştür" diye yazmıştı. Heisenberg'in ifadesi aşırıdır. Elbette bilimin gelişmesi, hâlihazırdaki basit olanları kapsayan daha ince ve karmaşık kavramların geliştirilmesini içerir. Ancak bu ince ve karmaşık kavramlar, Heisenberg'in bahsini ettiği fedakârlıklar ile tatmin olmayanlar tarafından üretilmiştir.

Tatmin olmamak, bilimde gerçekten önemli bir itici güçtür ve bu durum pek çok değişik şekilde karşımıza çıkabilir. Bazen, bir bilim insanının kafa karıştırıcı deneysel verilerin daha iyi şekilde organize edilebileceği yönündeki sezgisi ile ortaya çıkar. Ve bazen de bir teorinin haddinden fazla karmaşık olduğu ve basitleştirilebileceği veya bazı parçalarının birbirine uymadığı düşüncesinden ortaya çıkar. Diğer bazı durumlarda ise teorinin öngörüleri ile deneysel sonuçlar arasındaki uyumsuzluk ile karşımıza çıkar. Asla fiziği, sonsuz enerji, ışıktan hızlı seyahat, nesnelerin konumlarının kesin olarak tes-

20 Russell McCormmach, *Night Thoughts of a Classical Physicist*, Avon, New York, 1982.

pit edilebilmesi gibi konularda var olan hayallerimiz ve umutlarımız ile bilimin çatıştığı özel bir tatmin olmama durumu meydana getirir. İnsan aklı bu tür hayaller ve umutlar ile bütünleşmiş gibi görünmektedir. Bilim bunları çöpe atmaya kalktığında ona karşı koyar. Asla fiziğinin tatminsizlik getirmesine şaşmamalı. Ancak sonunda kazanan bilim olur.

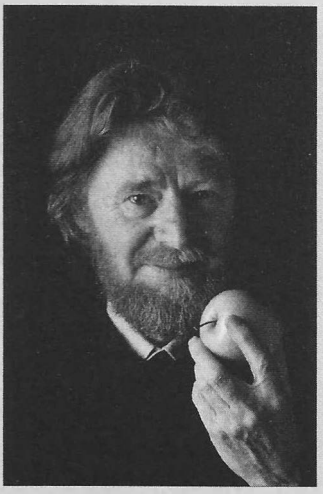
JOHN BELL VE TEOREMİ

Einstein 1955'te öldüğünde Bohr ile arasındaki tartışma halen çözümlenmiş değildi. Ancak buna rağmen yine de bu iki güçlü, yaratıcı ve derin düşünceli kişilik arasındaki çekişme, kuantum mekaniğinin gerçekten ne anlama geldiğini açık hale getirme konusuna büyük katkı sağlamıştı. Söz konusu çekişmeyi kısa bir süre sonra yeni jenerasyondan bilim insanları devraldı. Bunların içinde en önemlilerinden biri John Bell (1928-1990) idi. Bell, bir kuantum muhalifi olarak başlamış ancak kısa süre sonra fikrini değiştirip sonunda bir kuantum Gurusu haline gelmişti. Fizikçi olmadığı halde bu noktaya gelmiş olması kendisini dahi şaşırtmıştı.

Birimiz (Crease), 1990'daki ölümünden kısa süre önce sıra dışı kariyeri hakkında Bell ile bir söyleşi yapmıştı. Konuşmanın başında Bell, sabırsız ve çabuk parlayan bir kişi olduğu ve mantıksızlığa tahammül edemediği uyarısında bulundu. Ancak gerçekte sabırlı ve tatlı dilli biri olduğunu gösterdi.

John Bell

1960 yılında bir gün, Bell beklenmedik şekilde kendini, henüz açılışı yapılmış olan Cenevre'nin hemen dışındaki uluslararası bilim laboratuvarı CERN'de Niels Bohr ile aynı asansörün içinde buldu. Otuzlu yaşlarına henüz gelmiş bu genç İrlandalı, cesaretini toplayıp kuantum mekaniğinin yetmiş beş yaşındaki önde gelen kurucusuna "Size ait olan Kopenhag yorumunun kötü olduğunu düşünüyorum!" dedi. Baş başa kaldıkları bu kısa süre içinde Bell kendini tutamamıştı. O günü anımsayarak Bell "Eğer asansör katlar arasında takılı kalmış olsaydı günümü şenlendirmiş olacaktı!" dedi.[21]



John S. Bell (1928-1990) (Peter Menzel, www.menzelphoto.com).

Bell, 1928 yılında Kuzey İrlanda'nın Belfast kentinde nispeten yoksul Protestan bir ailenin çocuğu olarak dünyaya geldiğini söyledi. 1944'te Savaşın tam ortasında liseden mezun olmuş ancak askere çağrılmamıştı. O zamanlar Kuzey Iranda nüfusunun yaklaşık % 60'ı İngiliz ve Protestan iken % 40 kadarı ise Katolik ve "çekimser İngiliz" idi. Bell "Bu nedenle askere çağırma işe yaramazdı çünkü sadece Protestanları çağırıyoruz diyemezlerdi" diye açıkladı. Bell 1945'te Queens Belfast Üniversitesi'ne girdi ve orada felsefeye olan ilgisi bir süreliğine onu bilimden uzaklaştırdı. Ancak her yeni jenerasyon felsefecinin kendinden önce gelen jenerasyonu altüst ettiğini görmek onda hayal kırıklığı yarattı. Felsefe fizikten çok farklı değil ve en azından fizikteki bilgi za-

21 Robert P. Crease ve Charles C. Mann, "Interview: John Bell", *Omni*, Mayıs 1988, s. 85-92, 121.

manla birikiyor diye düşündü. Nihayetinde Bell fiziğe geri döndü ancak arada bir felsefeye dart atmaya da devam etti.

Kuantum mekaniği ve belirsizlik ilkesi, Queens Üniversitesi'nde bu konuları öğrendiği günden beri Bell'in kafasını meşgul ediyordu. Kitaplardaki kafa karıştırıcı izahlar ve profesörlerinin konuyu açıklamadaki beceriksizliği onu öfkelendirmişti. Bell hocalarına "dalga fonksiyonu gerçek mi yoksa sadece bir hesaplama aracı mı?" diye sorduğunda ve kendisini tatmin edecek bir cevap alamayışı hoş olmayan tartışmalara neden olmuştu. Bell, bir defasında hocalarından birini dürüst olmamakla itham edince çok ileri gidiyor olmakla karşılık görmüştü.

Bell, kuantum mekaniğini satranç oynamayı öğreniyor gibi (kuralları öğrenerek) öğrenmediğini fakat bisiklet sürmesini öğreniyor gibi (ne yaptığını bilmeden) öğrendiğini söylemişti. Yaptığı şeyin manasını göz ardı ediyor olmak onu huzursuz ediyordu. Ancak buna rağmen eğer bir fizik kariyerine sahip olmak istiyorsa geleneksel bir fizikçi gibi davranıp geleneksel fizik problemleri çözmeye kendisini yönlendirmesi gerektiğini görecek kadar zeki biriydi. Bell, kuantum mekaniğinin manası hakkında kafasını meşgul eden meselelerle bir "hobi" olarak ilgilenecek şekilde kendini yeniden ayarladı.

Ancak Bell, 1949'da Queens'den doktorasını aldıktan sonra dahi bu hobisini ciddi bir şekilde devam ettirdi. EPR makalesini dikkatlice okudu ve "cevap değil sadece laf kalabalığı" diye nitelediği Bohr'un cevabından hiç tatmin olmadı. Ardından von Neumann'ın gizli değişkenlerin var olmadığına yönelik ispatını aynı dikkatle okudu ve çileden çıktı. "Literatüre baktığımızda von Neumann'ın bu parlak ispatına yönelik pek çok atıf yapıldığını görüyoruz" dedi ve "ancak yayınladığı zamanda iki veya üç kişiden fazla okumuş olan olduğuna inanmıyorum" diye ekledi.

Peki neden?

> Fizikçiler kuantum teorisinin geçici bir teori olabileceği düşüncesiyle uğraşmak istemiyorlardı. Önlerinde pek çok seçenek vardı ve her fizikçi kuantum mekaniğini uygulayabileceği bir şeyler bulabiliyordu. Bu büyük matematikçinin (von Neumann'ın) bunun böyle olduğunu ispatladığını düşünmekten hoşnuttular. Ancak Neumann'ın ispatını gerçekten incelediğiniz zaman aslında elinizde dağıldığını görürüsünüz!

Bell kızgın bir ifadeye büründü.

> İçinde hiçbir şey yok ki. Sadece hatalı değil aynı zamanda saçma. Yapılan varsayımlara baktığınızda bir an dahi tutunamayacağını görürsünüz. Bu bir matematikçinin çalışmasıydı ve kendisi matematiksel simetri içeren varsayımlarda bulunmuştu. Ancak bunları fiziksel yapılar şeklinde tercüme ettiğinizde anlamsız olduklarını görürsünüz. Bu sözümü kullanabilirsiniz: 'von Neumann'ın ispatı sadece hatalı değil aynı zamanda saçma!'

Bell, von Neumann'ın gizli değişkenler ispatındaki kusurları abartmakla itham edildi. Bu ispat sadece belli türde gizli değişkenleri dışlıyordu.[22] Ancak önemli olan şey von

22 Jeffrey Bub, "Von Neumann's No Hidden Variables' Proof: A Re-Appraisal", arXiv: 1006.0499.

Neumann'ın ispatının Bell'in sezgilerini canlandırıp belli bir noktaya odaklamış olmasıydı. Bu sezgiler 1952'de *Physical Review* dergisinde yayınlanmış olan "Kuantum Teorisinin Gizli Değişkenler Açısından Önerilen Bir Yorumu" başlıklı makaleyi okuduktan sonra daha da güçlendi. Makalede yazar David Bohm, de Broglie'nin 1927 Solvay Konferansı'nda ortaya attığı bazı önerileri genişletti.[23] Bell "Bu benim için önemli bir şeydi çünkü von Neumann'ın hatalı olduğunu gösteriyordu. Bohm, von Neumann'ın imkânsız olduğunu iddia ettiği bir şeyi yapmıştı" dedi. Ancak Bohm, gizli değişkenler getirme karışlığında bir bedel ödemek zorundaydı; teorisinde yerelsellik kuralını ihlal etmek durumundaydı. Bell önünde duran masayı işaret ederek "bu demek oluyordu ki şurada yaptığınız bir şey" dedi ve sonra pencereden görünen Blanc dağına işaret ederek "uzakta başka yerlerde anlık sonuçlar doğurmalıdır" dedi. "Bu son derece tuhaf bir şeydi". Einstein'ın "uzak mesafeden işleyen hayali etki" diye isimlendirdiği şeydi. Bell, söz konusu uzak mesafeden işleyen hayali etkiyi içermeyen bir gizli değişkenler teorisi oluşturulup oluşturulamayacağı konusunda düşünmeye başladı.

Bell, 1960'ta CERN'e katıldı ve orada gerçekleştirilen fizik deneylerinin teorik yönleri üzerinde çalıştı. 1963 yılının başında CERN'e ziyarete gelen ve von Neumann'ın teorisini daha da geliştirdiğini iddia eden bir fizikçinin konuşmasını dinledi. Burada hemen bir diğer tehlike işareti tespit etti. Bell "oldukça kızmıştım" dedi. O yılın sonunda San Francisco yakınlarında bulunan bir laboratuvar olan Stanford Lineer Hızlandırıcısı Tesisleri'ne (SLAC) davet edildi. Başkan Kennedy'nin suikasta uğradığı günün ertesi günü tesislere vardı. "Herkesi bu kadar üzgün görmek çok tuhaf bir deneyimdi" dedi. SLAC'da, arta kalan zamanında, hobisini devam ettirmeye karar verdi. Ardından büyük yankı uyandıran ve adını kötüye çıkaran iki adet makale yayınladı.

"Kuantum Mekaniğinde Gizli Değişkenler Problemi Hakkında" başlığını taşıyan ilk makale von Neumann'ın ispatındaki kusurları açığa vurdu.[24] Bunu yazmaya değerdi çünkü otuz yıl sonra dahi literatürde neyin yanlış olduğu hakkında uygun bir analiz bulmak mümkün değildi. Ancak meseleyi ortaya koymakla Bell, gizli değişkenler teorilerinin yerelsellik kuralını ihlal etmek zorunda olduğu gerçeğinden kaçmanın mümkün olmadığını gösterdi ve makalesini bu öneri ile bitirdi.

Bell "Einstein-Podolsky-Rosen Paradoksu Hakkında" ismini verdiği ikinci makalesinde bu meseleyi tamamen çözmeye karar verdi.[25] "Bohm'un yerelsellik ihlalinden kaçınabilecek ne tür gizli değişkenler olabileceğini düşünmeye çalıştım ve bunu başaramayacağımı gördüm" dedi. Ardından çok önemli bir şey oldu. Yerelselliği muhafaza edecek bir gizli değişkenler teorisinin imkânsız olmadığını kanıtlamaya çalışmak yerine bunun tersini araştırmaya başladı. "Düşüncemde bir faz geçişi yaptım. İmkânsızlığın ispatını aramaya başladım ve nihayetinde buldum" dedi.

Bell, o dönemi hatırladı ve güldü. "Belli bir fiziksel kavramı doğrulamaya çalışmak yerine ortaya açık bir argüman koymak istiyordum. Bu soruların ardındaki mantığı çöz-

23 David Bohm, *Physical Review* 85, 1952, s. 166,189.

24 John Bell, *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics*, Cambridge University Press, Cambridge, 1987, s. 1-13.

25 *A.g.e.*, s. 14-21.

mek istiyordum. Gerçeğin ne olduğundan ziyade tartışmanın nasıl yürütüldüğü ve mantığı ile ilgilenirim çoğu zaman."

Bu makale Bell'in en etkili makalesiydi. Bütün kuantum mekaniği teorileri için "bir ölçüm cihazındaki sinyalin, ne kadar uzakta olursa olsun bir başka cihazdaki ölçümü etkileyebileceğini" gösterdi. Ve bu olay anlık olarak, yani ışık hızından daha büyük bir hızla gerçekleşiyordu. Bu teori diğer fizikçiler tarafından birkaç yıl içinde geliştirildi ve genişletildi. Bell'in bu teorisinin deneysel olarak test edilebileceğine işaret edildi.[26]

Bell'in teoremini anlatan çok sayıda kolay takip edilebilen iyi açıklamalar mevcut. Ancak bu açıklamalar için burada ayırdığımızdan daha fazla yere ihtiyaç var.[27] Bell'in te-

26 J. Clausen M. Home, A. Shimony ve R. Holt, "Proposed Experiment to Test Local Hidden-Variable Theories", *Physical Review Letters* 23, 1969, s. 880-84.

27 Sınıfta derste kullandığımız Bell'in teoreminin en beğendiğimiz açıklaması: N. David Mennin, "Is the Moon There When Nobody Looks? Reality and the Quantum Theory", *Physics Today* 38, Nisan 1985, s. 38-47. Bir başka versiyonu ise "Quantum Mysteries for Anyone", *Philosophy of Science and the Occult,* 2. baskı, P. Grim (der.), State University of New York Press, Albany, 1990, s. 315-25.

Orijinal formunda Bell'in teoremi için herkesin anlayabileceği kısa bir girişi nasıl verebiliriz bilmiyoruz ancak dolanıklılığın nasıl çalıştığına dair iyi bir örnek verebiliriz. Öncelikle kuantum mekaniğinin süperpozisyon, belirsizlik ve dolanıklılık gibi bütün tuhaf özelliklerinin dalga etkileri olduğunu belirtmemiz gerekir. Bu etkiler klasik dalgalar için tamamen normal olarak görülebilen ve sadece kuantum mekaniğinde parçacıklar ile ilgili öngörülere uygulandığında tuhaf hale gelen etkilerdir.

Örnek olarak her bir fotonu alıp onu yarı frekanslı, dolayısıyla da yarı enerjili iki fotona dönüştüren bir "parametrik dönüşüm" cihazı kullandığımız bir deneyi ele alalım. Bu iki fotonun momentumları otomatik olarak birbiri ile bağlantılıdır. Dolayısıyla biri sola doğru bir momentum ile gözlendiğinde diğerinin de sağa doğru bir momentuma sahip olacak olması sürpriz değildir. Bu durum çok şaşırtıcı görünmez ancak şimdi başka bir deneyi örnek olarak düşünebiliriz. Bu deneyde birinci foton, U-M-B-C harflerinin şekline sahip açıklıkların olduğu bir engelden geçip bir ekrana çarpıyor olsun. (T. B. Pittman, Y. H. Shih, D. V. Strekalov ve A. V. Sergienko, "optical Imaging by Mean of Two-Photon Quantum Entanglement", *Physical Review* A 52, 1995, s. R3429). Diğer yönde giden ikinci foton ise yolu üzerinde herhangi bir şekil veya engel olmaksızın tespit ediliyor olsun. Sol yönde ekran üzerinde U-M-B-C harflerinin meydana gelmesini sağlayacak kadar çok foton geçtikten sonra sağ yönde ilerleyen ve yolları üzerinde herhangi bir engel olmayan fotonların çarptıkları ekranda durumun ne olduğunu gözleyebiliriz. Karşımıza ne çıkar? Sol yönde ilerleyen fotonlarla aynı zamanda diğer yönde ilerleyen bu fotonların da U-M-B-C harflerini meydana getiren bir şekil oluşturduğu görülür! Bu olay EPR makalesinin protesto ettiği şeydir. Bu iki parçacığın momentumu birbiri ile bağlantılıdır ancak konumları için de aynı bağlantı vardır. Yani birbirleri ile açıkça dolanıklı haldedirler. Çünkü her bir parçacık için ayrı ayrı momentumu ve konumu aynı anda ölçemeyiz. Konumdaki bu ilişki anlaşılması zor bir ilişkidir. İki yöne giden fotonların birbiri ile karşılıklı konumlara çarpıyor olması değildir mesele. Aksine, sol istikamete giden fotonlar için uyguladığımız kısıtlama sağ istikamete giden fotonlar için bir hologram meydana getirir. Dolayısıyla sağ istikamete giden fotonlar için söz konusu olan toplam etki, sol istikamete giden fotonlar için zorunlu kıldığımız şeklin aynısını meydana getirir.

Bu dolanıklılık olayının bir dalga fenomeni olduğuna dair kanıt, sonuçta klasik bir dalga veren yoğun lazer ışınlarının kullanıldığı benzer bir deneyden gelir. Bu tür bir dalga, yoğunluğun yarısını geri yansıtıp diğer yarısını ise geçirebilen yarı gümüş bir ayna kullanılarak ikiye

oremi, zıt yönlere salınan elektron misali iki parçacığın ele alındığı Einstein-Podolsky-Rosen fikir deneyi ile başlar. Fikir deneyinde bu parçacıklar için konum ve momentumu incelemek yerine spin adı verilen bir diğer özellik incelenir. Parçacıklar arasında kesin ilişkiler yerine ara düzenler ele alınır. Parçacıklardan birine ait bir özellik ölçüm sonucu gerçeklik kazandığında diğer parçacıktaki özelliğin, ölçüm yapıldığında, aradaki mesafe ne olursa olsun ilkine bağlantılı olduğu görülür. Bu bağlantı, klasik fizikte ve kuantum fiziğinde kendini farklı şekillerde gösteren bir eşitsizlik şeklindedir. Kuantum fiziği açısından bakıldığında söz konusu iki parçacık birbiri ile anlık bir iletişim kurmuş gibidir. Ya da birinden diğerine uzanan büyük bir nesne meydana gelmiş gibidir. Bu sayede bir uçta bir değişiklik yaptığınızda diğer uç bu değişikliği anında "hisseder".

Bell, "bu teorem, ışık hızı ölçüsü ile birbirinden ayrı bölgelere ayrılmış Einstein'ın zaman ve mekân kavramlarının savunulamayacağını kesin olarak söylemektedir" dedi. Birkaç yıl içinde Bell üne kavuşmuş ve yan yana geleceğini hiçbir zaman ummadığı kişilerden oluşan bir grubun içinde kendini bulmuştu. Bu kişilerin arasında, fiziğin doğu mistisizmi ile aynı şeyi öğrettiğini söyleyenler de vardı. Bell gülümseyerek şöyle devam etti:

> Dini ve manevi konularda muhalif biriyimdir. Bu konulara insanların verdiği cevaplar bence sadece birer temennidir. Böyle düşünenlere karşı düşmanca bir tavrım yok. Ancak bana cevaplanamaz gibi görünen sorulara cevap bulma konusundaki heyecanlarını paylaşmıyorum sadece. Bilimin cevap veremeyeceği sorular olduğunu ve hatta bilimin soramayacağı sorular dahi olduğunu kabul ediyorum. Nihayet cevabını bulduk diyen insanlar duyduğumda ve bu cevapların Budizm veya Taoizm veya bunun gibi başka bir şey olduğunu gördüğümde, bu gibi şeylere baktığım zaman aynı cevabı bulamadığımı söylemek zorundayım. Buna rağmen başkaları cevapları oralarda buluyorsa onlara karşı bir kampanya başlatmam. Bu onların meselesi. Kimseye bir zararı yok. Budizm'den çok daha berbat olan ideolojiler de var.

Bunda kolayca sinirlenecek bir şey yok.

bölünebilir. Bu defa ayna yüzeyine paralel olan momentumlar (klasik dalgalar için benzer büyüklüklere "dalga numarası" denir) birbirine eşit olmalıdır. Bu sayede momentumlar için bir bağıntılı olma durumu söz konusudur. Ancak bunun yerine belli bir istikamette oluşmuş şekli gözleyip diğer istikamette aynısının meydana geldiğini tespit edebiliriz. EPR makalesinin buna bir itirazı olmazdı çünkü bu tür dalgalar için söz konusu bağıntı beklendik bir durumdur (Ryan S. Bennink, Sean J. Bentley ve Robert W. Boyd, "Two-Photon Coincidence Imaging with a Classical Source", *Physical Review Letters* 89, 2002, s. 113601).

ONUNCU BÖLÜM

Schrödinger'in Kedisi

> "Schrödinger'in kedisini bana açıklayabilir misin?"
> "Hadi gel" diyor ve ceketime elini atıp beni kaldırıma çekiyor. Bir şey söylemeden yanında yürüyorum ve o bir şeyler mırıldanıyor, "Tanrım tanrım tanrım tanrım". "Sorun ne?" diye soruyorum. "Sen, sen Grayson, sorun sensin" diyor. "Neden" diye soruyorum. "Biliyorsun" diyor. "Hayır bilmiyorum" diyorum. Ve o yine bana bakmadan yürümeye devam ederek "Salı gecesi evlerine Erwin Schrödinger ile ilgili bir soruyla rastgele gelen bir çocuk istemeyen kızlar da vardır sanırım. Eminim böyle kızlar da var. Ama onlar benim evde yaşamıyor."
>
> *– Will Grayson, Will Grayson*

Will ve Jane, Birinci Bölüm'de gördüğümüz *Will Grayson, Will Grayson*'da geçen iki genç, Schrödinger'in kedisi hakkında konuşur. Onlara yetişebilmek için bazı teknik detaylara kısaca göz atmamız ve Schrödinger'in bu fikri ortaya attığı orijinal makalesini irdelememiz gerekiyor.

Gördüğümüz üzere kuantum mekaniği dünyayı iki bileşenin ürünü olarak tarif eder. Birincisi bir çeşit bilgi fonksiyonudur, Schrödinger'in denklemi ile tanımlanan Ψ fonksiyonu. Bu fonksiyon klasik bir dalga halinde dışa doğru genişleyerek pek çok olasılığı etrafa yayar. İkinci bileşen ise söz konusu bu dalga fonksiyonunun başına gelen şeydir. Onun gözden kaybolmasını ve içerdiği olasılıklardan birinin ise ortaya çıkmasını sağlayan şeydir.

Bu tuhaf resim aşina olduğumuz günlük dünya ile nasıl bir bağlantı içindedir? Bu soruya cevap vermek, yani kuantum mekaniğini tercüme etmek, insanlığın en büyük entelektüel meselelerinden biridir dedik. Kuantum mekaniğinin öncüleri bu mesele karşısında şaşkındı ve kendilerini teknik olmayan bir dille ifade etme konusunda çaresizdi. Bu nedenle çoğu zaman mecazlara ve beden diline müracaat etmek zorunda kaldılar. Eddington "bir elektron, tıpkı bir cinin şişenin içinden çıkması misali Schrödinger'in dumanından kristalize olarak ortaya çıkar" dedi. Bridgman fizikçilerin, dibi düşmüş bir dünyanın sakinleri haline geldiğini söyledi. Bragg ise binlerce kilometre uzağa yayıldığı halde bir gemiye çarptığı an gizemli bir şekilde enerjisini bir noktaya toplayabilen ve bu sayede, büyük bir alana yayılmış olduğu halde, geminin güvertesindeki bir tahtayı koparabilen bir dalga hayal etti. Şaşırtıcı!

Dönemin fizikçileri olayları daha ziyade teknik içerikli farklı izahlarla yorumlamaya çalışıyordu.[1] Kuantum mekaniğinin en bilindik yorumu 1920'lerin sonlarında ve 1930'ların başlarında Bohr ve Heisenberg tarafından geliştirildi. Kuşkuyla bakan Einstein, Schrödinger ve diğerleri tarafından "dogmatik kuantum mekaniği" olarak isimlendirilen bu yorum sonradan "Kopenhag Yorumu" olarak anılmaya başlandı. Buna göre dünya, kuantum ve klasik dünya olmak üzere iki farklı bölgeye ayrılmıştır. Kuantum dünyası, Schrödinger'in denklemi ile tanımlanan ve belli gerçek durumların varlık haline gelme olasılığını veren gözlenemez ve soyut Ψ-alanı ile yönetilmektedir. Bu kuantum dalgası klasik dünyada bir nesne ile temas haline geldiğinde, bu temas söz konusu fonksiyonu yok eder veya onu "çökertir". Olasılıklardan bir tanesi gerçek hale gelirken diğer olasılıklar ise bertaraf olur. Bu yoruma göre herhangi bir gözlem veya ölçümden önce dünya hakkında bilebileceğimiz nihai bilgi, hangi durumların varlık haline gelebileceğine dair olasılıklar dizisidir.

Bir önceki bölümde ele aldığımız bu düşünce en başından beri muhalefet görecek kadar tuhaftı. Einstein bu konuda en önde gelen savaşçıydı ve en büyük salvosu Mayıs 1935'te yayınlanan "Fiziksel Gerçekliğin Kuantum Mekaniksel Tanımı Tamamlanmış Bir Tanım Olarak Kabul Edilebilir mi?" isimli EPR makalesiydi.

1935'te Schrödinger İngiltere'de sürgündeydi. Avusturya'da doğmuş ve 1927'de Berlin'de profesör olarak Friedrich Wilhelm Üniversitesi'nde Max Planck'ın yerini almıştı. Ancak 1933'te yeni Nazi hükümetinin aldığı bir dizi tedbire kızmış ve dehşete düşmüştü. Nihayetinde kendini Oxford'da buldu.

1 Howard, "Who Invented the 'Copenhagen Interpre-tation'?"

Physical Review dergisinin EPR makalesini içeren sayısı Oxford'a erişince çok heyecanlanmıştı. 7 Haziran 1935'te Einstein'a yazarak memnuniyetini dile getirdi. Konum ve momentum gibi belli bazı özelliklerin ölçüm işlemi dışında gerçekliğinin olmadığını söyleyen Bohr-Heisenberg bakış açısı için küçük düşürücü ifadeyi kullanarak "görünüşe göre dogmatik kuantum mekaniğini yakasından yakalamışsınız" dedi.[2] Şimdi Schrödinger'in kedi örneğine doğru ilerleyebiliriz. Einstein Schrödinger'e heyecan ile cevap verdi ve düşüncelerini detaylı şekilde anlattı. Fizik bilimi gerçekliği izah eder, ancak bütün izahlar tamamlanmış halde değildir dedi. Açıp içine bakabileceğin kapakları olan iki adet kutu düşün. Birinin içinde bir top olsun. Kutunun içine bakarak gözlem yapmadan önce söz konusu durumu nasıl izah edebilirim? Doğru şekilde deriz ki, topun kutulardan birinde bulunması ihtimali ½ veya % 50'dir. Bu tamamlanmış bir izah mıdır? Tabii ki hayır der Einstein. Bu izah gerçekliğin kendisini değil fakat sadece durum hakkındaki bilgimizi karakterize eder. Gerçekten top ya birinci kutunun içindedir ya da değildir. Ancak dogmatik kuantum mekaniğine göre topun bir kutuda olma olasılığının % 50 olduğunu söylemek prensip noktasında tamamlanmış bir izah olarak kabul edilebiliyor. Görünüşe göre dogmatik kuantum mekaniği topun herhangi bir kutunun içinde olmadığını fakat sadece ilk defa kutulardan birinin içine baktığınızda var olduğunu söylüyor. Einstein bunun çok saçma olduğunu söyleyerek devam eder. Bu iddia, bir kutunun içinde olanın diğer kutuda olandan bağımsız olduğunu söyleyen "ayrılabilirlik" ilkesini ihlal etmektedir. Bu ilke neyin gerçek olduğunu kabul etmemizde o denli temel bir düşüncedir ki Einstein onu "yerel gerçeklik" ilkesi olarak tanımlar. Einstein "Bohr-Heisenberg dogmatik kuantum mekaniği düşüncesinde kutu açılmadan önceki durum basitçe sayısı ile tam olarak tanımlanmıştır" diye yazdı.[3]

Einstein iki ay sonra Schrödinger'e bir başka benzetme örneği gönderdi. Farz edin bir barut yığınının bir yıl içinde patlamasının bir olasılığı olsun. Bu nedenle barutun Ψ-fonksiyonu patlamış ve patlamamış baruttan oluşan bir süperpozisyon mu tanımlar? Saçma! Einstein, kuantum mekaniği ve onun Ψ-fonksiyonunun tamamlanmamış ve yetersiz bir teori olduğunu ilan etti. "Böyle bir fonksiyonun gerçekliğin yeterli bir izahı olduğunu kabul edecek bir yorum mevcut değildir" dedi.[4]

2 E. Schrodinger to A. Einstein, 7 Haziran 1935. This letter is quoted in Walter Moore, Schrodinger's Life and Thought, Cambridge University Press, New York, 1989, s. 304.

3 *A.g.e.*

4 *A.g.e.*, s. 305.

Bu sırada EPR makalesi Zürich'te Pauli'nin eline geçmişti. Öfkelenen Pauli, Schrödinger'e kızgın mektuplar yazdı. Pauli, Einstein ve arkadaşlarının Ψ-fonksiyonunu istatistik gaz teorisi ile aynı şey zannetmek suretiyle meseleyi yanlış anladıklarını söyledi (bu teori olasılıklara bağlı bir teoriydi ancak devasa sayıda parçacıkları ele alıyordu). Pauli, kuantum mekaniğinin EPR makalesinde ima edilen determinizmi ve realizmi kesin olarak geçersiz kıldığına ısrar etti.

Taraftar, Einstein ve muhalif Pauli arasında tartışmalara neden olmuş olan EPR makalesi Schrödinger'e kendi düşüncelerini oturup yazması için ilham kaynağı oldu. Bu yazısına "genel itiraf" ismini verdi ve Ekim 1935'te "Kuantum Mekaniğindeki Mevcut Durum" başlığı ile yayınladı.[5] Bu makale günümüzde Schrödinger'in kedisi örneğini ilk defa gündeme getirmiş olmakla bilinir. Bu örnek günümüzde kuantum mekaniğinin tuhaf gerçekliklerine dair yapılan popüler tartışmalarda sıkça karşımıza çıkar.

> "Schrödinger bir fikir deneyi ortaya atmıştı. Bu makalenin ele aldığı tartışma şudur: Eğer bir elektronun dört farklı konumdan birinde olma olasılığı varsa bu durumda söz konusu bu dört konumdan hangisinde olduğunu biri çıkıp belirleyene kadar her dört konumda aynı anda bulunuyormuş gibidir. Bu iddia mantıklı mıdır?"
>
> "Hayır" dedim. Küçük beyaz çoraplar giyiyordu ve tempoyu korumak için ayağını her attığında bileğini görebiliyordum. "Doğru, bu tamamen mantıksız. Kafa karıştırıcı şekilde tuhaf. Schrödinger bu gerçeğe işaret etmeye çalışıyor. Bir kediyi bir miktar radyoaktif madde ile aynı kutunun içine koyun diyor. Bu madde, atom altı parçacıklarının konumuna bağlı olarak, bir radyasyon detektörünün bir çekici harekete geçirmesine neden olabilir. Çekiç ise kediyi öldürecek zehirli bir maddenin kutunun içine salınmasına neden olabilir. Anladın mı?"
>
> "Sanırım anladım" diye cevap verdim.
>
> "O halde ölçüm yapılana kadar elektronların bütün konumlarda olabileceği teorisine göre kedi, biz kutuyu açıp ölü veya diri olup olmadığını tespit edene kadar hem ölüdür hem de diridir. Schrödinger kedilerin öldürülmesini veya bunun gibi bir şeyi tasvip ediyor değil. Sadece bir kedinin aynı anda hem ölü hem de diri olmasının biraz olanak dışı olduğunu söylemeye çalışıyor"
>
> – *Will Grayson, Will Grayson*

5 E. Schrodinger, "Die gegenwartige Situation in der Quantenmechanik", *Naturwissenschaften* 23, 1935, s. 807-12; 823-32, 844-49. Ingilizce tercümesi için bkz. John D. Trimmer, "The Present Situation in Quantum Mechanics", *Proceedings of the American Philosophical Society* 124, 1980, s. 323-38, reprinted in J. A. Wheeler ve W. H. Zurek (der.), *Quantum Theory and Measurement*, Princeton University Press, Princeton, 1983, s. 152; Online: http://www.tu-harburg.de/rzt/rzt/ it/QM/cathtml#sect5.

Jane, arkadaşının takip edebileceği kadar kolay bir örnek veriyor. Schrödinger'in orijinal makalesi de anlamada kararlı olan bir okur için bundan daha zor değil. Makale, klasik dünyanın bizlere doğanın kesin olarak tanımlanabileceği fikrini verdiğini söyleyerek başlıyor. Elbette deneysel veriler bu tanımın pratikte bütün detayına kadar uygulanmasına olanak sağlamayabilir. Ancak bu veriler gerçeği ile kıyas etmemizi sağlayacak olaylara ait modeller oluşturmamıza ve onları gerçeğe daha uygun hale getirecek şekilde düzeltmemize olanak verir. Bazı modeller statik iken bazıları ise zaman içinde bir durumdan diğerine geçiş yapan olayları tanımlayan dinamik modellerdir. Modellerimizi hassaslaştırmak suretiyle düşünceyi deneyime adapte ederiz.

Söz konusu durumlar Schrödinger'in belirleyici parçalar veya değişkenler diye isimlendirdiği sayılar ile belirtiliyordu. Örneğin statik bir üçgenin belirleyici parçaları kenarları ve açılarından oluşan bir dizidir. Bir üçgenin bütün özellikleri bir açı ve iki kenar ile veya iki kenar ve bir açı veya üç kenar ile belirlenebilir. Bu belirleyici parçalardan oluşan küçük bir dizi herhangi bir durum için diğerlerini de kesin olarak belirlemiş olur. Ancak diğerlerini belirlemek için farklı setler kullanabiliriz.

Bu uygulama kuantum mekaniğinde imkânsızdır. Çünkü bütün belirleyici parçalar veya değişkenler birlikte aynı anda belirlenemez. Buna engel olan pratikteki bir yetersizlik değildir fakat Heisenberg'in belirsizlik ilkesidir. Belli başlı değişkenleri ölçtüğünüzde diğerlerinin ölçülemez hale gelmesi gerçeğidir. O halde bir durumun klasik tanımı artık anlamsız hale gelir. Schrödinger "Peki ya diğer değişkenler ne olacak?" diye sorar. Onların bir gerçekliği yok mudur? Yoksa bulanık bir çeşit gerçekliğe mi sahipler. Ya da hepsi aynı anda gerçektir de haklarındaki eş zamanlı bilgi midir devre dışı kalan?

Felsefi dille söyleyecek olursak Schrödinger, olasılıkların söz konusu değişkenlerin ontolojisini etkileyip etkilemediğini soruyordu. Bu değişkenlerin karşılık geldiği büyüklüklerin varlık halinde olup olmadığını soruyordu. Yoksa etkilenen sadece değişkenlerin epistemolojisi miydi? Yani onların ne olduğu hakkında bilgi sahibi olma yeteneğimiz miydi? Önceki bölümleri dikkatlice okumuş olanlar cevabı biliyor: İlki doğrudur.

Schrödinger, termodinamikte olasılıkların sadece epistemolojiyi etkilendiğini söyleyerek devam eder. Bilim, insanları veya milyar kere milyar sayıda molekülden oluşan büyük sistemleri, sanki olası pek çok durumdan rastgele seçilmiş sadece birini içeriyormuş gibi basitleştirerek modeller. Termodinamikte bir sistemin kesin olarak nasıl davrandığı çok önemli değildir. Gerçekte her bir atomun davranışının kesin tarifi sizi hiç ilgilendirmez. Sadece ge-

nel olarak nasıl davrandıkları önemlidir. Ancak bu metot kuantum dünyasında işe yaramaz çünkü bazı değişkenler kesin biliniyor olduğunda bazı başka değişkenler bilinemez veya bulanık halde kalmak zorundadır. Schrödinger, "belki bunun arkasında yatan durum hakkında daha fazla bilgimiz olsaydı meselenin sandığımızdan daha karmaşık olduğunu görebilirdik ve belki nedensellik tekrar ortaya çıkardı" der. Ancak buna rağmen Ψ-fonksiyonu atom altı dünya ile sınırlanmış kaldığı sürece söz konusu belirsizlik meselesi zararsızdır. Atom çekirdeğinin içindeki bulanık durum bizi rahatsız etmez. Schrödinger "Ancak belirsizliğin mikroskobik ölçekte algılanabilen ve görülebilen şeyleri de etkilediği fark edildiğinde ciddi sorunlar ortaya çıkar. Bu durumda 'bulanık olma' terimi artık basitçe hatalı bir terimdir" der. Ardından meşhur kedi örneği ile devam eder ve Einstein'ın örneklerinden daha anlaşılır şekilde mikro dünyadaki belirsizliği makro dünyaya genişletir:

> Bundan daha çılgınca örnekler dahi verilebilir. Bir kedi, çelikten bir kutunun içinde kedinin doğrudan müdahalesine karşı korunmuş olan bir Geiger sayacı ile beraber hapsedilir. Geiger sayacı az bir miktar radyoaktif madde içerir. Bu maddenin miktarı o kadar azdır ki belki bir saatlik süre içinde sadece bir tane atom bozunmaya uğrayabildiği gibi aynı olasılıkla hiçbir atom bozunma yaşamayabilir. Eğer bir atom bozunursa bu olay sayacı uyarır ve bir röle vasıtasıyla düzeneğe bağlı bir çekiç harekete geçer. Çekiç, içinde hidrosiyanik asit bulunan cam şişeyi kırar. Ancak bir saat içinde hiçbir atom bozunmazsa bu durumda kedi yaşamaya devam eder. Sisteme ait Ψ-fonksiyonu söz konusu durumu, içinde hem diri hem de ölü kediyi eşit olarak karışmış veya yayılmış halde ihtiva etmek suretiyle tarif eder.

Buradaki esas mesele, deneyi bir bütün olarak hesaba katmak zorunda olduğumuza dair Bohr'un ortaya koyduğu fikrin getirdiği sonuçlarla alakalıdır (kuantum nesneleri ile deney cihazları arasındaki etkileşim). Bir kuantum nesnesi üzerinde ölçüm yaparken, bir teleskopla gök cisimlerini inceliyorken olduğu gibi ölçüm cihazını basitçe eylemden ayrı tutamazsınız. Söz konusu kuantum nesnesi pek çok değişik şekilde var olabilir ve laboratuvarınızda ne şekilde var olduğu deney cihazlarınızı nasıl kurduğunuzla bağlantılıdır. Schrödinger, makalesinin bu bölümünü, "titrek şekilde çekilmiş veya odaklanmamış bir fotoğraf ile bulutlara veya bir sis tabakasına ait bir kare arasında fark olduğunu" örnekleyip, bulanık gerçekliklerle ilgili anlaşılmaz veya çelişkili bir durum olmadığını belirterek sonlandırır. Kuantum mekaniği bu ikincisine benzer bir durum ortaya koyar. Mikro dünyadaki bulanıklık sadece gözlendiği zaman, yani makroskobik hale getirildiğinde ortadan kalkar. Ma-

kalenin ilerleyen bölümlerinde Schrödinger, bu meselenin Einstein'ı endişelendiren sonuçlarına işaret ederek devam eder; önceden etkileşmiş olan kuantum durumlarının, etkileşim sonrasında dahi devam eden ayrışamazlığı veya EPR makalesinde yazarların tabiri ile "yerel gerçekliğin" ihlali.

Schrödinger bu ilkenin kuantum mekaniğindeki ihlalini ifade eden yeni bir kelime icat etmişti: Dolanıklılık.[6] Schrödinger, klasik dünyada iki nesne birbiri ile etkileşir ve ardından ayrılırlarsa onlar hakkındaki bilgimiz de iki parçaya ayrılır dedi. İkisi hakkındaki bilgimiz her biri hakkında sahip olduğumuz bilginin toplamıdır. Bu sayede Einstein'ın yerel gerçekliği yeniden tesis edilmiş olur. Ancak kuantum dünyasında iki nesne birbiri ile etkileştiğinde, ölçüm gerçekleşene kadar ayrışmayan bir Ψ fonksiyonu tarafından yönetilen bir sistem meydana gelir. Schrödinger, bu ölçüm gerçekleşene kadar nesneler hakkındaki bilgimizin dolanıklılığının devam edeceğini söyledi.

> Ancak bu bana o kadar da imkânsız gibi gelmiyor. Görünüşe göre kapalı bir kutunun içinde bulunan şeyler biz o kutuyu açana kadar hem ölü hem de diridir. Yani henüz gözlenmemiş olan hem oradadır hem de değildir. Belki de bu nedenle diğer Will Grayson'un kocaman Fransız gözleri hakkında düşünmekten kendimi alamıyorum. Çünkü az önce hem ölü hem diri olan kediyi ölü hale getirdi. Gerçekten Tiny'ye ihtiyaç duyacağım durumların içine kendimi neden sokmadığımı şimdi anlıyorum ve onu öpmem mümkün iken bunun yerine kuralları neden takip ettiğimi anlıyorum: Kapalı kutuyu tercih ettim. "Tamam" dedim. Yüzüne bakmadan "Sanırım anladım."
>
> – *Will Grayson, Will Grayson*

Schrödinger bu kedi hikâyesini espri olsun diye yazmıştı. Bu hikâye Einstein ile beraber oluşturdukları şakayı ileriye taşıdı: "Kedi gibi bir şeyin varlık durumunun, onun gözlenip gözlenmediğine bağlı olarak belirsiz halde bulunabileceğini düşünmek ne kadar saçma!" dedi.

Bilim tarihçisi Stephen Brush, kedi örneğinin Einstein'ın eleştirisinin ruhunu EPR makalesinden daha iyi şekilde ortaya koyduğunu belirtmişti.[7] Ancak buna rağmen Schrödinger'in makalesi yayınlandığında kedi örneği çok az tartışmaya neden olmuştu. Neden olsun ki? Herkesin sorun dahi olmayacağını düşündüğü bir meselenin komik bir betimlemesiydi. Bohr ve Heisenberg'e göre bir kedi Ψ fonksiyonu ile tanımlanamayacak kadar karmaşık

6 Ayrıntılı bir tartışma için bkz. Howard, "Nicht Sein Kann."

7 Stephen Brush, "The Chimerical Cat: Philosophy of Quantum Mechanics in Historical Perspective", *Social Studies of Science* 10, 1980, s. 393-447.

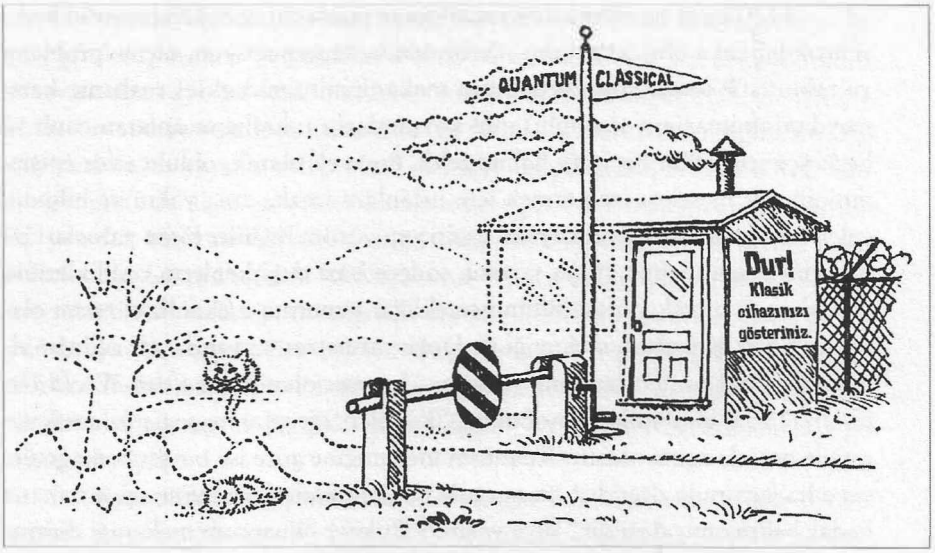
bir varlıktı. Kediler, klasik dünyanın sakinleriydi. Bu dünyada gerçeklik bulanık değildir. Kediler ya ölüdür ya da diri. Schrödinger'in örneği yasa dışı bir şekilde klasik-kuantum sınırının bir tarafında yer alan bir nesnenin bu sınırın öteki tarafına ait bir davranış sergilemesi iddiasını ortaya atıyordu. Bu örnek, *Will Grayson, Will Grayson'da* gençlerin tabiri ile söyleyecek olursak, başarısızdı.

Öte yandan Einstein ve Schrödinger için bu örnek, makro dünyadaki gerçekliği açıklamak için bulanık bir modeli nasıl kabul edemezsek, mikro dünya için de bunu kabul edemeyeceğimizi göstermişti. Dogmatik kuantum mekaniği başarısızdı. Sınırın öbür tarafında şeyler farklıdır ancak o kadar "farklı" değildir. Her iki taraf için kedi örneği mantıksızlığı sembolize eder.

Bu nedenle sonraki birkaç on yıl süresince kedi örneğine pek fazla atıfta bulunulmadı. Bu örnek bir süreliğine sadece Einstein ve Schrödinger arasındaki mektuplarda, kuantum mekaniğinin Bohr-Heisenberg yorumunda hatalı olduğunu düşündükleri şeyin basit bir sembolü olarak karşımıza çıkar.[8] Örneğin 1950'de Einstein, Schrödinger'e bir mektup yazarak kedi olayının tamamlanmış izahında bu canlının "gerçek" olduğunu, yani ya ölü ya da diri olduğunu tekrarlar. Einstein'ın bu görüşü, felsefecilerin sağ duyulu realizm olarak isimlendirdikleri düşüncedir. Kedi, onu gözlüyor olmamızdan ayrı şekilde ölü veya diri olma özelliğine sahiptir. Bohr ve Kopenhag yorumunu kabul edenler mikro dünyada bu şekilde bir realizmi sürdürmenin imkânsız olduğunu ve kedinin bu sınırı geçemeyeceğini iddia ettiler. Her iki taraf için de kedi örneği, klasik-kuantum sınırını yanlış şekilde inşa ettiğimizde karşımıza çıkan bir problemi sembolize ediyordu. Bir başka şakada denildiği gibi "Schrödinger'in kedisi kırmızı bir ringa balığıdır".

Ancak bu sınır tartışması ortadan kalkmadı. Tersine, kötüye gitti. Belirli parçaların beraber var olmasını sağlayacak şekilde kuantum dünyasının kurallarını yeniden formüle edecek bir yol bulunamaması Einstein ve Schrödinger'i şaşkınlık içinde bıraktı. Dalga fonksiyonunun altında fazladan serbestlik derecelerinin ortaya çıkarılabileceğini ve böylece nedenselliğin bir dereceye kadar yeniden tesis edileceğini umut etmişlerdi. Ancak dalga fonksiyonunun kesin determinizmi buna müsaade etmedi. Dolanıklılık meselesi bertaraf edilemedi ve sadece epistemolojik değil aynı zamanda ontolojik bir problem olarak kaldı.

8 Schrödinger'in referansı için bkz. Karl Meyenn, *Eine Entdeckung von ganz auserordentlicher Tragweite: Schrodinger's Briefwechsel zur Wellenmechanik und zum Katzenparadoxon* (Berlin: Springer, 2011).



Michael Ramus (Physics Today'in izniyle).

Klasik-kuantum sınırının kesin olarak tespit edilemiyor olması da Bohr ve Heisenberg için bir şaşkınlık oldu. Klasik sınırın neresi olduğu tespit edildiğinde problem çözülebilir demek kolay. Ancak bu sınırın nerede olduğunu söyleyen hiçbir teori ortaya çıkmadığı gibi hiçbir deney böyle bir sınırın varlığını tespit etmeyi de başaramadı. Gözlediğiniz fenomen ne kadar karmaşık ise görmeye çalıştığınız kuantum etkilerini tespit edilemez kılan rastgele etkiler o denli fazla olur. Bu gerçek, söz konusu sınırın gözlenmesini zorlaştırır. Böylece sınır tartışması devam etti ve giderek artan şekilde kedi örneğini aktif bir problemin sembolü haline getirdi.[9] Günümüzde söz konusu sınır geçişi bazen ani bazen ise aşamalı bir geçiş olarak biliniyor. Olaya dahil olan pek çok sayıda etki söz konusu superpoze kuantum sisteminin bütünlüğünü kaybederek önceki durumuna dönmeksizin klasik bir nesne haline gelmesine neden olmaktadır. Bu aşamalı geçiş, kuantum bütünlüğünü kaybetme olarak anılır. Kuantum bilgisayarlarının geliştirilmesindeki en önemli çabalardan biri, bu bütünlüğünü kaybetmesine engel olarak kuantum sisteminin mümkün olduğu kadar uzun süre korunmasıdır.

9 Anthony J. Leggett, "Quantum Mechanics: Is It the Whole Truth?", *Visions of Discovery New Light on Physics, Cosmology, and Conciousness* içinde, Raymond Y. Chiao vd. (der.), Cambridge University Press, Cambridge, 2011, s. 171-183; ayrıca bkz. A. J. Leggett, *Jounral of Physics* A 40, 2007, s. 3141.

1970'lerde popüler bilim yazarlığının gelişmesi ile Schrödinger'in kedisi artık bir şaka olmaktan çıktı. Dolanıklılık, süperpozisyon, ölçme problemi ve tabii ki Ψ-fonksiyonu (kuantum mekaniğinin geleneksel realizme karşı meydan okumasının sembolü) gibi kavramların tuhaflığını anlatan canlı ve herkesçe erişilebilir bir imge haline geldi. Buna ek olarak, oldukça zor epistemolojik bir meseleyi izah etmek için insanlara sıcak, cana yakın ve bilindik gelen bir şey olması da onu ayrıca cazip yapıyordu. Popüler bilim yazarları bu imgenin adeta üstüne atladı ve onu, sadece bazı değişkenlerin özelliklerinin örneklemesi olmak yerine bütün gerçekliğin kuantum mekaniksel resmi olarak ilan etti. Kuantum mekaniği ile Doğu mistisizmi arasında var olduğu iddia edilen bağlantılar hakkında yazılmış bir eser olan *Dans Eden Wu Li Üstatları* (1979) kitabında Gary Zukav, "Klasik fiziğe göre bir şeyi gözlemek suretiyle onunla aşina oluruz. Kuantum mekaniğine göre ise bir şey, onu gözleyene kadar orada değildir! Bu nedenle kedinin kaderi, kutunun içine bakana kadar belirlenmiş değildir" diye yazdı.[10] Zukav, "kuantum mekaniği dünyanın geleneksel anlamda sabit bir varlık haline sahip olmadığını gösterir" diyerek devam eder. Kuantum mekaniğinin bilim kurgudan bile daha tuhaf olduğunu ekler. Zukav, "Schrödinger'in kedisi uzun zamandır fizik öğrencilerine kuantum mekaniğinin hayal kurduran yönü için örnek olmuştur" diyerek sonlandırır. Zukav'ın kitabı oldukça popüler oldu ve bir Amerikan kitap ödülü kazandı. Bu kitabın popülerliği, 1980'lerde zirve yapan popüler bilim yazılarında Schrödinger'in kedisi örneğinin yayılmasına katkıda bulundu. Schrödinger'in kedisi imgesi, sadece bilim kurguda değil aynı zamanda mistik kurgu yazılarında, amatör felsefede ve kişisel gelişim yazılarında da daha sıklıkla karşımıza çıktı.[11]

10 Gary Zukav, *The Dancing Wu Li Masters*, William Morrow, New York, 1979, s. 86.

11 Popüler kültür konusu olarak Schrödinger'in kedisi 1980'lerde olgunluğa erişti. Örneğin 1984'te bilim insanı ve bilim yazarı John Gribbin *In Serach of Schrodinger's Cat: Quantum Physics and Reality* isimli eserini yayınladı. Bu çalışmanın devamı niteliğindeki *Schrodinger's Kittens and the Search for Reality* (1996) isimli esere ilham oldu. Schrödinger'in örneğini tartışan diğer eserler: *Who's Afraid of Schrildinger's Cat? An A-to-Z Guide to All the New Science Ideas You Need to Keep Up with the New Thinking* (Ian Marshall ve Danah Zohar, 1997) ve *Sebtainger's Machines: The Quantum Technology Reshaping Everyday Life* (Gerald J. Milburn, 1997). Aynı konuyu ele alan romanlara örnek için bkz. *Schrodinger's Cat Trilogy* (Robert Anton Wilson, 1979), *Schrodinger's Baby*: A Novel (H. R. McGregor, 1999); *Schrodinger's Ball* (Adam Felber, 2006); ve *Blueprints of the Afterlife* (Ryan Boudinot, 2012). Kısa hikayeler: Ursula K. Le Guin "Schrodinger's Cat" (1974) ve F. Gwynplaine MacIntyre "Schrodinger's Cat-Sitter" (2001). "Schrodinger's Cat" bir müzik grubunun ismidir ve Schrodinger's Mouse ise bir bilim kurgu dergisine isim olmuştur. Schrödinger'in kedisine atıfta bulunan TV yapımları ise; "Stargate", "Futurama", "CSI" ve "Doctor Who." Dizisidir. John Lennon'un oğlu Sean ve bir Ukraynalı Rock grubu, Schrödinger'in kedisi başlıklı eserler yayınlamıştır. Schrödinger'in kedisi YouTube'da ve pek çok bilgisayar oyunun-

Neden? Birincisi, bu imge ontolojik belirsizlik diye isimlendirebileceğimiz günlük yaşamın gerçekliklerine ait belli özelliklerin yerini doldurabilir (örneğin sizin için pek çok olasılıklar mevcut iken birini seçtiğinizde diğerlerinin mevcudiyeti artık ortadan kalkar). Biri ile eş olarak evlendiğinizde artık diğerleri ile bir yaşama sahip olma olanağını kaybedersiniz. Bir kariyer yoluna girdiğinizde diğerleri artık olanaksız hale gelir (en azından ciddi anlamda bir yeniden başlama olmaksızın). İkincisi, söz konusu imge bir kediyi ihtiva etmektedir. Schrödinger'in kedisi, sadece bilimsel saygınlığı olan bir benzetme sunmakla kalmaz aynı zamanda karşı konulmaz sevimli bir resim de koyar ortaya. Üçüncüsü, Zen öyküsünde geçen tek el çırpması sesi misali eğlenceli bir absürdlük içerir. Paradoksları seviyoruz. Bizleri düşünmeye sevk ettiklerini sanırız ancak gerçekte paradokslar bize boşuna uğraşmamamız gerektiğini söyler.

Günümüzde fizikçiler artık Schrödinger'in kedisiyle pek fazla ilgilenmiyor. Bu terimi, gerçek bir kedi kadar karmaşık olmasa da büyük kuantum sistemlerini tanımlamak için "kedi-durumları" diye tabir edilen bir etiket olarak kullanıyorlar. Ancak dünyanın geri kalanı Schrödinger'in kedisiyle halen oldukça ilgili. Heinz Pagels'in *Kozmik Kod*, Martin Gardner'in *Kuantum Tuhaflığı* ve John Gribbin'in *Schrödinger'in Kedisini Arama Yolunda* isimli eserlerinde örneğini gördüğümüz üzere bazı bilimciler Schrödinger'in kedisine dair güçlü popüler açıklamalar geliştirmeye çalışmıştır. Gerçeği söylemek gerekirse bu ölçülü örnekler çılgınca olanlara kıyasla marjinal anlamda daha az tuhaf örneklerdir. Daha önce de gördüğümüz üzere popüler söylemler her zaman teknik izahlarla uyum içinde değildir ve çoğu zaman bilimsel terimleri kendi amacına hizmet edecek şekilde adapte edip başkalaştırır. Kuantum sıçraması teriminin sürekli olmayan geçişleri (hatta ve özellikle büyük geçişleri) tanımlamak için kullanılmış olması gibi Schrödinger'in kedisi terimi ve onunla bağlantılı olan denklem, gözlem sonucu veya nesnel dünya ile temas sonucu ortadan kalkan, değişen veya açıklık kazanan belirsizlikleri içeren süreçleri temsil etmek için kullanılmıştır. Ayrıca gerçeklikler arasındaki ontolojik mesafe için kullanılan bir metafor haline de gelmiştir.

Üç çeyrek asır sonra günümüzde Schrödinger'in kedisi, neredeyse Dr. Seuss'un Şapkadaki Kedi'si kadar ünlü bir popüler ikondur. Öğrenciler her zaman yeni ve yaratıcı referanslar bulmaktadır. Bazıları kedinin intikamı kurgusuna veya havyan istismarını konu alan komik ve kaba bir öğrenci bakış

da görülür. Hatta Schrödinger'in kedisinin popüler kültürdeki yeri konulu bir Wikipedia sayfası dahi mevcuttur.

açısına sahiptir. Bazıları ise okuyucuların beklentilerini değiştiren zekice hazırlanmış karikatürlerdir.

Kedi paradoksunun ardındaki fizik kendi mizah türünü yaratmıştır. En çok güldüğümüz fıkralardan biri dumanlı bir barda flört eden Alice ve Bob diye isimlendirebileceğimiz iki kişi ile başlıyor. Nihayetinde o denli yakınlaşıyorlar ki birbiri ile uyumlu olmayan iki cinsel eylemi aynı anda uygulamaya kalkıyorlar (bu kitabı genel okur kitlesi için yazdığımızdan dolayı söz konusu eylemlerin ne olabileceğini kendiniz hayal etmek zorundasınız). Bu durum, dumandan dolayı tam olarak ne yaptıklarını görmekte zorlanan barmenin kafasını karıştırır. Barın sarhoşuna "ne oluyor orda?" diye sorar. "Tam olarak göremiyorum.. Harika görünüyor ama ne olduğuna anlam veremiyorum" der. Sarhoş özlem ile iç çekerek "evet" der "buna superpozisyon deniyor."[12]

Kediye dönecek olursak, buradaki espri komik ancak açıklanması zor bir espridir:



xkcd.com

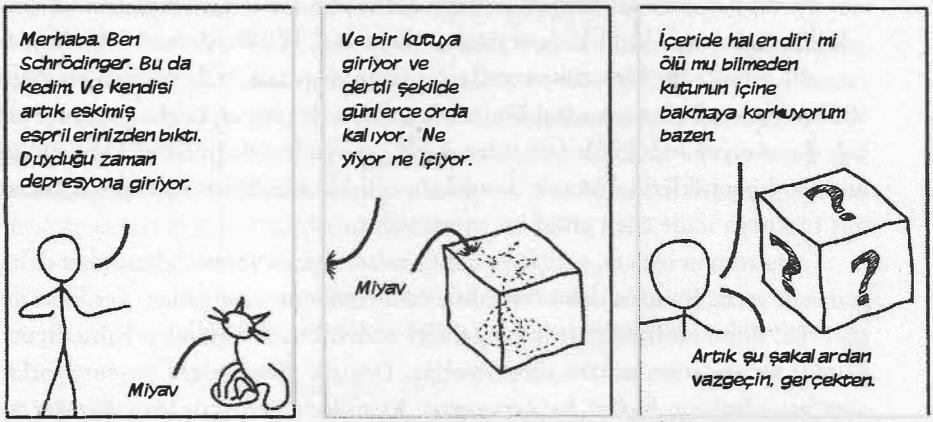
Schrödinger'in kedisinin bir başka kullanımı gerçeklik ile ilgili karanlık soruları ima eden kasvetli örneklerdir. Lily Tuck'a ait olan *Seninle Mutluluk İçin Evlendim* isimli romanda, Philip bir matematikçidir ve eşi Nina ise bir ressamdır. Schrödinger'in denklemi ve kedisi, romandaki eşler arasındaki boşluğu tanımlayan bir metafor olarak kullanılır; soyut ve somut, akılcı ve duygusal, mantıklı ve hayalci, matematikçi ve sanatçı, zihinsel ve pratik, sonsuz ve geçici. Philip, Nina'nın gıpta ettiği ve paylaşmasını arzu ettiği ideal bir dünyanın bilgisine sahiptir. Nina, eşini huzurlu ve dünyadan kopuk biri olarak görür. Kendisinin gerçek dünya ile daha bağlantılı olduğunu düşünse de,

12 Bunları bize gönderen Bristol ve Oxford'dan gelme o dönemki doktora sonrası öğrencilerimize teşekkür ederiz: David Leigh, Gavin Morley, Denzil Rodrigues ve Jamie Walker.

çoğu zaman önemsiz şeyler ile dikkati dağılmış ve düşünceleri ve anıları oradan oraya zıplar halde hayatını süreksiz ve kopuk bulur. Schrödinger'in dalga fonksiyonu ve bu fonksiyonun çökmesi olayı, yani hayalet ve gerçek kedi, birbirine çok yakın fakat aynı zamanda çaresizce uzak olan bu iki insan arasındaki uzaklığı yansıtmak için sıklıkla kullanılmıştır.

> Beynimiz, kuantum dünyasının belirsizliği içinde işleyemez (Philip bunu kaç defa izah etmeye çalıştı). Kuantum mekaniği, birbiri ile uyumsuz iki alternatifi kucaklayan ve her birine kendi olasılığını tahsis eden matematiksel bir yapıdır.
>
> "Ancak kuantum mekaniğinin yorumlarından birini kabul ettiğimizde" diyerek devam etmek ister fakat Nina dinlemeyi bırakmış ve başka şeyler hakkında düşünmeye başlamıştır: İstediği parlak kırmızı rengini elde etmek için boyaları nasıl karıştırmalı? Yemeği fırında ne kadar süre daha tutmak gerek?[13]

Kedi imgesi popüler kültürde o kadar çok yer almıştı ki bir geri tepmenin olması kaçınılmazdı. Burada bir örneğini görüyoruz:



Schrödinger'in Kedisi

icanbarelydraw.com CC BY-NC-ND 3.0

Schrödinger'in Kedisi

Bir başka protesto YouTube'da, Sillysparrowness rumuzlu bir Alman öğretmene ait "Schrödinger'in kedisi – Dünyanın en kötü metaforu" isimli videoda

13 Lily Tuck, *I Married You for Happiness*, Atlantic Monthly Press, New York, s. 126-27.

görülebilir.[14] Hümanist ve edebiyatçı bir akademisyen olduğunu iddia eden Sillysparrowness, dil bilimsel bir anlam yorumu yapar. Schrödinger'in kedisi imgesi "kötü bir örnek ve işe yaramaz bir mecazdır" çünkü "atomlar ölçeğinde olan bir olayı makro ölçekte açıklayamazsınız – bu işe yaramaz" der. Bu kişi, Fransız simgeci şiirini birlikte çalışmak isteyeceğiniz bir kişi değildir.

Kedi örneği bizleri cezp etmeye devam ediyor çünkü dünyanın soyut ve somut, Doğu ve Batı, Hıristiyan ve Hıristiyan olmayan, eşcinsel olan ve olmayan, dişi ve erkek gibi pek çok çoğul, karışmış ve tamamlanmamış kimlikler ile dolu olduğunu görüyoruz. Bu kavramlar dünyadan kopuk olduğunda kafa karıştırıcı bir şekilde var olur fakat belli şartlar altında belli ve somut şekillere bürünür. Dünyadan kendimizi alıkoyup ardından onunla tekrar temas ettiğimizde geri dönüşü olmayan değişimlerin ortaya çıkmasının nasıl bir şey olduğunu biliyoruz. Pek çok kimliği kurcalayıp sonra birini seçmek zorunda kalmanın nasıl bir şey olduğunu biliyoruz. Bu deneyimleri izah etmek zordur. Geleneksel izahların çoğu yetersiz gibi görünür.

Gençler bunu bilir. Bu nedenle *Will Grayson, Will Grayson'da* geçen kahramanlar (aynı ismi taşıyan iki farklı kahraman var) Schrödinger'in kedisini bir espri olarak görmez ve konuyu ciddiyetle ele alır. Sonrasında aniden şekillenen karışık kimlik deneyimleri yaşarlar. Will'lerden birinin hayatı Frenchy adında bir film dükkânında yaşadığı bir rastlantı ile değişirken diğer Will ise eşcinsel olan arkadaşı Tiny ve kendisine ilgi duyan kız Jane'e karşı soğuk davranıyor olduğunu fark eder. Kedi örneğinin odağında yer alan dolanıklılık, hissettikleri karmaşık duyguları, çelişkili kimlikleri ve dışa vurulmamış tutkuları ifade eden güzel bir metafordur.

Bu roman bizlere, gençlerin deneyimlere anlam verme çabasından daha fazlasını verir. Bundan daha önemlisi, deneyimlerine nasıl anlam verdiklerini görürüz. Bilim insanı olmayan bu gençler neden kedi örneğinden bahsediyor? Çünkü yaşamlarına anlam veremiyorlar. Değişik düşüncelere başvuruyorlar ama var olanların hiçbiri işe yaramıyor. Kendilerini sıkışmış hissediyorlar ve burada kedi imgesi işe yarıyor görünüyor. Bu imge, başlarına geldiğini düşündükleri şeylere dair bir örnek sunuyor. Kendilerinin atom altı parçacıklar olmadıklarını bildikleri halde bu imgeyi yaşadıkları ilişkilere anlam vermekte kullanıyorlar. İlgi duydukları şey kuantum fiziği veya atom altı dünya değil, kendileri ve kendilerine ait olan dünyadır. Onlar, düalitelerle dolu bir dünyada, akıllıca olan ve olmayan, çekici gelen ve gelmeyen, özlem ve korku gibi ka-

14 http://www.youtube.com/watch?v=itQVDA6_TME.

rışmış ve ifade edilmemiş duygularla dolu olan bir dünyada yaşayan kafası karışmış gençlerdir. Kedi imgesi (bilimsel ve zihinsel prestiji ile) onlara, meseleler hakkında derinlemesine düşünmenin uygun bir davranış olduğu fikrini verir. Bu ise gençlerin hem başlarına gelenlere hem de hissettiklerine anlam vermelerine müsaade eder. *Will Grayson, Will Grayson*'daki kahramanlar kedi imgesini, kendilerini kendilerinden uzaklaştırmak ve kendilerini soyut olarak görmek için sofistike bir şekilde kullanır. Bu şekilde kendilerini daha iyi kavrarlar. Kedi imgesi hakkında konuşmak onlar için kendileri hakkında konuşmaya vekâlet eden ve istedikleri zaman terk edebilecekleri bir şeydir.

Bu imge de, şu ana kadar incelediğimiz bütün diğer kuantum imgelerinde olduğu gibi, eski bir mesele için geliştirilmiş yeni bir örneklemedir. Yerimize başka bir şeyi koyarak onu konuşturmak sadece gençlerin yaptığı bir şey değildir. Bir başka ünlü örneği Tolstoy'un *Anna Karenina* isimli eserinde görüyoruz. Levin, sevdiği fakat kendisini geçmişte reddetmiş kadın olan Kitty'nin "nazik fakat korkmuş gözlerine" baktığında, bir tebeşir parçası ile harfler çizdiği bir kelime oyununa çeker onu. Bu oyun, tehlikeli bir konu olan söz konusu geçmişteki reddedilme meselesini güvenle konuşmalarına müsaade eder ve nihayetinde mutlu eden bir sonuca erişirler.

Will Grayson, Will Grayson'daki kedi imgesi bu kelime oyununa benzer bir araçtır. Her durum için farklı olmakla beraber taraflar için kullanışlı bir araçtır. Çünkü gençler için güzel ve bilimsel, Rus aristokratlar içinse eğlencelidir. Schrödinger'in kedisi gibi düşüncelerin sabit ve mutlak olmadığını fakat başka koşullar altında deneyimlerimizin gizemli taraflarına hitap eden bir araç olarak kullanılabildiğini görürüz.

> "Aslında hepsi bu değil. Bundan karmaşık olduğu görülüyor."
>
> "Daha karmaşığı anlayacak kadar zeki olduğumu sanmıyorum" dedim.
>
> "Kendini hafife alma" dedi.
>
> Ben her şeyi derinlemesine düşünmeye çalışırken hamaktan gıcırtı sesleri geliyordu. Ona baktım.
>
> "Nihayetinde kutuyu kapalı tutmanın aslında kediyi hem ölü hem de diri yapmadığını çözdüler. Kediyi içinde bulunduğu durum ile sen gözlemesen dahi kutunun içindeki hava gözler. Yani kutuyu kapalı tutmak seni karanlıkta bırakır, evreni değil."
>
> "Anladım" dedim. "Ancak kutuyu açamamak kediyi öldürmez." Artık fizikten bahsetmiyoruz.
>
> "Hayır" dedi. "Kedi zaten ölü veya diriydi, hangisi gerçeklemişse."
>
> "Kedinin bir erkek arkadaşı var" dedim.

"Kedinin bir erkek arkadaşının olması belki fizikçinin hoşuna gidiyordur."

"Olabilir" dedim.

"Arkadaşız" dedi.

"Arkadaşız" dedim. Başımızı salladık.

– *Will Grayson, Will Grayson*

Öbür Dünya'nın Planları gibi bilim kurgu çalışmalarda kedi hikâyesi tuhaf ve büyülü entrikaları mümkün kılar (ikinci kişilikleri görebilmek gibi). Bilim yazarları içinse sağduyulu realizmdeki problemleri kısa ve öz bir şekilde ifade eder. Kuantum mekaniğinin günlük yaşam ile nasıl bir bağ içinde olduğunu sorgulayanlar içinse, Heisenberg'in kuantum mekaniği için ödemek zorunda olduğumuz bedel olarak tanımladığı "ara seviye gerçeklik" düşüncesini belirtir. Zeki gençler içinse bu konu hakkında konuşmak başlı başına sürükleyici bir deneyimdir ve arkadaşlıkları derinleştiren duyguları paylaşmalarına müsaade eder. Kedi hikâyesi sadece metaforik kökeni unutulduğu zaman meyvelüperi (saçma ve gösteriş amaçlı) haline gelir. Bu durumda anlamın, hikâyenin nasıl kullanıldığından ziyade hikâyenin kökeninden geldiği düşünülür. Sanki bilimsel kökeni ona büyülü ve özel bir güç vermiş gibidir.

SINIR SAVAŞI

En uzun ve en çetin sınır savaşlarından biri klasik ve kuantum dünyasının arasında sınır için verilmiştir. Bu sınırı karakterize etmek için ilk adım Bohr'un "uygunluk ilkesi" idi. Bu ilkeye göre Planck sabiti ile boyutlandırılmış büyüklüklerin değeri bu sabite kıyasla çok büyük olursa, hareketin klasik tarifi giderek artan bir doğruluk derecesine sahip olur. Bu örnek, Amerika ile Kanada arasındaki sınırı, ne kadar kuzeye giderseniz şeyler o kadar Kanadalı hale gelir diyerek karakterize etmek gibidir. Kesin bir sınır çizgisi belirlenmiş olmaz (bunu yapamayacağınız önerilmiş olur) ancak sınırın bir bölgeden diğerine yumuşak bir geçiş ihtiva ettiği söylenmiş olur.

Bohr bu ilkeyi ilk önce (ismini kullanmadan) Bohr atomu üzerinde yaptığı çalışmalarda kullandı. Çok büyük yörüngeler için, atomun yaptığı ışımanın klasik fizik kullanılarak hesaplanabilir olacağını ve ardından bu klasik değerlerin kuantum dengeleri ile eşleştirilebileceğini iddia etti. Bu metot, başkaları tarafından da önerilmiş olan bir düşünceyi, açısal momentumun $\hbar = h/2\pi$ katları olması gerektiğini sadece varsayarak değil fakat hesaplayarak elde etmesini sağladı. Kendisinin de ifade etmiş olabileceği gibi, büyük kuantum değerleri limitinde kuantum değerlendirmesinden klasik değerlendirmeye geçilmelidir. h değerini giderek küçülecek şekilde ayarladıkça daha çok Kanadalı olmaya başlarsınız ve nihayetinde sıfıra erişince Kanada'ya varmış olursunuz! Atom seviyelerinde enerjiler birbirine giderek yaklaşacağı için Bohr'un keşfettiği ani sıçramalar ve zıplamalar birbirinden ayırt edilemez halde giderek küçülecek ve hissedilmez hale gelecektir. Buradaki ana fikir, kuantum tarifinden klasik tarife geçişin tamamen yumuşak bir geçiş olduğudur.

Yörüngeler çok büyük ve onlara karşılık gelen seviyeler arasındaki enerji farkları çok küçük olsa da tek bir elektronun çekirdek etrafında dolandığı sistem halen az sayıda parçaya sahiptir. Bir sistemdeki parçaların sayısı çok büyük hale gelirse ne olur? Elde edebileceğiniz en büyük nesne hangisidir? Bu konu, elbette, yine esprilere kapı açar. Bir *New Scientist* okuru "çorap" cevabını vermiştir. "Benim deneyimime göre en az bir çorap kadar büyük olabilir. Çünkü çoraplar aniden karışınıza çıkabilen şeylerdir (çekmecenizdeki çifti olmayan çorapların sayısını kontrol edin). "Sıcak su ortamına atmadan önce onları birbirine bağlamak suretiyle ortadan kaybolmalarının engellenebileceğini keşfettim" diyerek devam eder.[15]

Bilimsel olarak bu karmaşık bir meseledir çünkü sadece nesnedeki parçaların sayısını değil fakat aynı zamanda bu parçaların bağımsız olarak hareket edip edemeyeceğini de düşünmek zorundayız. Örneğin çok düşük sıcaklıklarda büyük mükemmel bir kristalde çok fazla salınım hareketinin olması mümkün değildir ve prensip noktasında söz konusu kristali kuantum kurallarına riayet eden tek bir nesne gibi düşünebiliriz. Pratikte bunu yapacak teknolojiye henüz sahip değiliz ancak Buckyball adı verilen moleküllerin (altmış ila yetmiş karbon atomundan oluşan ve kafes yapısında topa benzer bir şek-

15 Steve Field, "Quantum Socks", *New Scientist*, 23 Haziran 2012, s. 31.

le sahip olan moleküller) uygun şekilde tasarlanmış yarıklardan geçirilmesi sonucu karakteristik dalga kırınım desenleri gözlenmiştir. Klasik parçacık fiziği aynı zamanda salınım yoğunluk desenlerini verir. Yarıkların periyodik yapısından dolayı farklı desenler olsa da sonuçlar kuantum dalgalarından beklenenlere benzerlik gösterir.

Yarıklar arasındaki mesafenin uygun şekilde büyük olması gerektiği çok daha büyük nesnelerdeki kırılmada durum nedir? Burada karşımıza çıkan ilk problem, yayılımın düzgün şekilde girişim yapmasına mani olan tutarsızlığa neden olacak termal uyarılmalardır. Abes bir örnek verecek olursak, insanları kullanarak kırınım oluşturmak isterseniz bu durumda öncelikle onları tekrar hayata döndüremeyecek kadar çok soğutmanız gerekir!

Yukarıda bahsini ettiğimiz kristal örneği, mikroskop ile görülecek kadar büyük olan nesnelerde kuantum girişiminin gözlenebileceğini öne sürmektedir ve yapılan birkaç deney bunu başarmıştır. Deneylerden biri Stony Brook'daki meslektaşlarımıza aittir.[16] Bu deneyde, içinden manyetik akı geçirilen süper iletkenlik özelliğine sahip bir halka kullanılır. Bu halka, iki adet süperiletken akı kuantası arasında ortada yer alır. Bu nedenle söz konusu süperiletken, akının yarım kuantum azalmasını veya yarım kuantum artmasını sağlayacak bir akım üretmelidir. Ve bu iki konfigürasyon birbirine o kadar yakın enerjilere sahiptir ki aralarındaki kuantum salınımları gözlenebilir. Aralarındaki manyetik moment farkı bir hidrojen atomunun manyetik momentinin 10 milyar katı kadar olan bu iki durum arasında kuantum girişimi gerçekleştiği anlamına gelen bu kuantum salınımları gerçekten de tespit edilmiştir. Bu son derece makroskobik bir olaydır.

Bu tür deneylerin yapılmasını desteklemiş ilk kişilerden biri helyum-3 süper akışkanları üzerinde yaptığı çalışmalardan dolayı Nobel ödülü kazanmış olan Tony Leggett olmuştur. İlk başlarda Leggett, bu deneylerin gerçekte yapılabileceğinden kuşku duyuyordu. Kuantum girişim olaylarının makro ölçeğe daha fazla genişletilmesi konusunda kuşkuları devam ediyor. Bugünkü haliyle kuantum mekaniğinin, deneylerde kesin sonuçların ortaya çıkması algısını (örneğin bir kedi gibi kompleks bir varlığın kutunun içinde iki durumun süperpozisyonu halinde değil fakat her zaman ya ölü ya da diri olarak gözlenmesi) izah edip edemeyeceği konusunda 2005 yılında Charles Townes'ın 90. doğum yıldönümü anısına gerçekleştirilen "Şaşırtıcı Işık" sempozyumundaki tartışmalarda bunu görebiliriz. Söz konusu tartışmada Leggett'in muhalifi, atom saatlerini geliştirmek için girişim sistemlerinin kullanılması konusunda yaptığı çalışmalar ile Nobel ödülü kazanmış olan Norman Ramsey idi. Ramsey daha yaşlı idi ve bu nedenle klasik fiziği kuantuma tercih edebileceği düşünülebilirdi. Ancak Ramsey, kuantum girişimi davranışı gösterebilecek nesneler için karmaşıklık ve ebat noktasında doğal bir sınır olmadığı görüşünü savundu.

Pratikte bir sistemin ebadının büyümesi ile girişimin ortadan kaybolmasının nedeni nedir? Bu konuda çoğunluğun görüşü, ebat büyüdükçe ana sistemle alakalı serbestlik derecelerinin giderek artabiliyor olmasıdır. Eğer bu serbestlik dereceleri ana sisteme ait belli bazı durumlara karşılık gelen farklı durumlarda yer alıyorsa neticede söz konusu durumların girişim yapması oldukça zor hale gelir. Çünkü sadece belli bir kanalı besle-

16 J. R. Friedman, V. Patel, W. Chen, S. K. Tolpygo ve J. E. Lukens, "Quantum Superposition of Distinct Macroscopic States", *Nature* 406, 2000, s. 43-46.

mek zorunda kalmakla birlikte var olan diğer durumlar da aynı kanalı beslemek zorunda kalır. Bu nedenle söz konusu kuantum karmaşası nihayetinde bütünlüğün bozulmasına neden olur. Yani farklı makroskobik durumlar birbiri ile girişim yapma yeteneğini kaybetmiş olur.

Schrödinger'in kedisi buna mükemmel bir örnektir. "Ölü" ve "diri" diye isimlendirdiğimiz durumlar, her iki durum için otomatik olarak çok farklı değerler yüklenen oldukça çok sayıda değişkenin karmaşık bir kombinasyonudur. Birine örnek vermek gerekirse, oksijen taşıyan belli sayıda hemoglobin hücresine karşı karbondioksit taşıyan belli sayıda hemoglobin hücresi vardır. Tam girişimin gerçekleşmesi için her iki durum için bu sayıların aynı olması gerekir. Ancak bunun olması oldukça düşük bir ihtimaldir.

Leggett, başkalarının ortaya attığı bir diğer orijinal düşünceyi, henüz keşfedilmemiş yeni ve farklı kuantum dalgalanmalarının da olabileceği düşüncesini inceliyordu. Bu dalgalanmalar büyük sistemler ile daha kolay bağlanabiliyor ve bu nedenle, bilinen serbestlik dereceleri üzerinde deneycinin ne kadar çok kontrolü olsa bile, gözlenebilir girişmelerin ortaya çıkmasını güçleştiriyordu. Bu tür bir fenomen, fiziksel dünya ile ilgili bilgimize önemli yeni bir özellik katacağı için incelemeye kesinlikle değer. Bu tür bir inceleme, girişim olayı sergileyebilen daha büyük sistemler oluşturmaya çalışmakla yapılabilir. Eğer Leggett haklı ise bu, bütünlük gösteren büyük ölçekli ve karmaşık sistemler için, tıpkı Amerika ile Kanada arasında var olan doğal sınır misali doğal bir sınır keşfetmek anlamına gelir.

Öte yandan deneyciler ve teorisyenler nesneleri giderek artan büyüklükte kuantum süperpozisyonlarına oturtmaya devam etmektedir. Yakın zamanda Duisburg-Essen Üniversitesi'nden iki fizikçi bu tür nesnelerle gerçekleştirilen deneylerin ne kadar makroskobik olabileceğinin ölçüsünü belirlemeye çalıştı. Yeni ortaya attıkları bu parametreye μ ismini (Yunan alfabesinde mü olarak telaffuz edilen harf) verdiler. Söz konusu μ parametresinin değeri ne kadar büyükse nesneler de o denli makroskobiktir. Araştırmacılar, bugüne kadar elde edilmiş en makroskobik süperpozisyon olan ve 2010 yılında 356 atomla gerçekleştirilen bir deneyin $\mu=12$ değerine sahip olduğunu hesap ettiler. Bu değeri 23'e kadar artıracak deneyler yapmanın nihayetinde mümkün olacağını düşündüler. Ancak basitleştirilmiş şekilde 4 kg ağırlığında bir su küresi olarak modelledikleri bir kedi, erişilme umudu olmayan $\mu=54$ değerine sahiptir. Bu değer, bir elektronun evrenin yaşının 10^{39} katı kadar uzun bir süre süperpozisyonda kalmaya devam etmesine eş değerdir. Araştırmacılardan biri "asla asla dememeliyiz, ancak büyük ihtimalle hiçbir zaman bir kediyi kuantum süperpozisyonuna koymayı başaramayacağız" dedi. Teorisyenler, hayali bir kedinin hayata geçirilmesi de dahil olmak üzere ciddi veya önemsiz pek çok başka meseleye dikkat çektiler. Bu konuyu kaleme alan *Physics World* editörleri "Bu konu biraz saçma bir hal aldı" diye yazdı.[17]

Kuantum dünyasının bütün tuhaflıklarından sorumlu olan en belli başlı özelliği, parçacıklar hakkında öngörülerde bulunmak için dalgaların kullanılıyor olmasıdır. Dolanık-

17 "How Fat is Schrodinger's Cat," *Physics World*, 25 Nisan 2013, http://physicsworld.com/cws/articleinews/2013/apr/25/how-fat-is-schrodingers-cat [Erişim tarihi: 1 Ekim 2013; ayrıca bkz. "Comments", *Physics World*, Haziran 2013, s. 21.

lılık, süperpozisyon, polarizasyon ve girişim klasik dalgalar için bilindik özelliklerdir ve klasik parçacıklar için anlamsızdır. Klasik ve kuantum dünyaları arasındaki sınır nihayetinde sabitlendiğinde bir şey hakkında artık emin olabiliriz; sınır kontrol noktasında parçacıklar ve dalgalar artık kendi yollarına gider.

ON BİRİNCİ BÖLÜM

Tavşan Deliği: Paralel Dünyalara Susamak

David Lindsay-Abaire'in ödül kazanmış oyunu olan *Tavşan Deliği*'nde (2005), lise öğrencisi olan Jason, sakin bir mahallenin caddesinde arabasını sürerken aniden önüne bir köpek çıkar. Jason direksiyonu kırar ancak köpeğin peşinden koşan bir çocuğa çarparak ölümüne neden olur. Bu gereksiz ve trajik kazadan büyük üzüntü ve pişmanlık duyan Jason, okulunun



Another Earth/Başka Bir Dünya **(Twentieth Century Fox Film Corporation).**

edebiyat dergisi için bir hikâye kaleme alır. Hikâye, bu dünyada yaşayan insanların başka versiyonları ile dolu olan paralel evrenlere açılan yollardan oluşan bir ağ keşfeden bir bilim insanı hakkındadır. Bu bilim insanı öldükten sonra oğlu, babasının halen hayatta olduğu bir evren bulmak için bu farklı dünyaları keşfe çıkar. Jason, hikâyesinin kopyasını ölen çocuğun annesine, Becca'ya verir.

Nicole Kidman'ın (2010) başrolünü oynadığı bir filme dönüştürülen bu hikâyede Jason'un tavşan delikleri vasıtasıyla paralel dünyalara seyahat etme hayali, benzer bir konuyu ele alan *Another Earth/Başka Bir Dünya* isimli filmde somut hale gelir. Bu filmdeki kahraman lise son sınıf öğrencisi Rhoda'dır (Brit Marling). Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'ne kabul edildikten sonra, astrofiziğe olan ilgilisini takip edebileceği pek çok olanaklar girer yaşamına. Arkadaşlarıyla kutlama yaptığı bir partinin ardından arabasıyla bir başka arabaya çarpar. Öbür arabanın sürücüsü John komaya girerken hamile olan eşi ve çocuğu hayatını kaybeder.

Dört yıllık bir hapis cezasının ardından Rhoda ailesinin yanına döner. O sıralarda gökyüzünde dünyamızın tıpatıp aynısı olan yeni bir gezegen ortaya çıkar. Tek fark, gezegenin üzerinde yaşayanların hayatlarında olan olaylar gezegenin keşfinden hemen sonra farklı bir yönde gelişmeye başlamıştır. Bu keşif, Rhoda'nın başından geçen kazadan hemen önce gerçekleşmiştir. United Space Ventures isimli bir şirket, Dünya-2 diye isimlendirilen bu gezegene seyahatler düzenlemeye başlar. Halen hapis cezasının travmasını yaşayan Rhoda bu seyahat için bir bilet kazanır ve Dünya-2'de kendisinin, mahvolmamış ve verimli bir yaşama sahip alternatif bir versiyonu ile karşılaşmayı umar. Son anda fikrini değiştirir ve bileti kazada ailesini kaybetmiş olan John'a verir. Böylece ailesini yeniden görmesine izin verir.

Rabbit Hole/Tavşan Deliği ve *Another Earth/Başka Bir Dünya* filmlerinde ortaya konan düşünce yeni bir düşünce değildir. Eski çağlardan (mutlak anlamda bilimsel bir düşünce şeklinde olmasa da) beri aramızda olan bir fikirdir ve pek çok hayali amaca hizmet etmiştir. İ.Ö. 5. yüzyılda Yunan filozofu Philolaus, bu dünyada yaşayan insanlar için görünmez olan bir karşıt dünyanın varlığını öne sürmüştür. Burada amaç kozmolojiktir; karşıt dünya olmadan Philolaus'un evreni dengelenmemiş bir evren olurdu. Ancak farklı olarak Philolaus, karşıt dünyanın insanların karşıtları ile dolu olduğunu hayal etmemiştir. Ancak öbür yandan klasik Yunan mitolojisinde Orpheus destanı, bir kişinin ölümden geri getirilmesi olasılığını hayal eder. Sevgi ve bağlılık, kararlılık ile talihsiz bir ölümü tersine çevirmeyi umar.

19. yüzyıla geçtiğimizde ise Lewis Carroll'un *Alice Harikalar Diyarında* isimli sevilen hikâyesinde eğlence ve yergi amaçlı olarak esrarengiz ve hayali bir dünya kullanılır. 1922'de H.G. Wells'in kaleme aldığı *Tanrı Gibi İnsanlar*, alternatif bir dünyayı sosyal eleştiri amacı için kullanır. Burada bir gazeteci, Ütopya adında bir zamanlar dünyaya çok benzer olan paralel bir dünyaya götürülür. Bu dünya 1920'lerin İngiltere'sinin çok gelişmiş bir versiyonudur. Devlet yapısı dahil olmak üzere ona ait pek çok hastalıktan arınmıştır. (Romanın kahramana söylendiği gibi, "Ütopya'da devlet, sahip olduğumuz eğitimdir".)

1941'de *Yolları Çatallanan Bahçe* isimli kısa hikâyede, (aynı isimle kısa bir koleksiyon halinde yayınlanmıştı) zaman ve kimlik gibi felsefi paradoksları incelemiş olan Arjantinli yazar J.L. Borges, olası bütün kararlardan meydana gelen olası bütün olayların birlikte varlık halinde olduğu bir "multievren" hayal etmiştir. Kitapta yer alan "Babil Kütüphanesi" isimli bir hikâyede Borges, harflerin bütün olası permutasyonlarını ihtiva eden 410 sayfalık kitaplardan oluşan devasa bir kütüphane hayal etmiştir. Paralel evrenlerin yazılı karşılığı olan bu kütüphanede anlam ve bilgi ile alakalı bilmeceleri incelemiştir.

Alternatif gerçeklikler düşüncesi, veya farklı kararlar vermiş olsaydık yaşamımızın veya dünyamızın farklı olmuş olacağı gerçeğine yönelik düşünce de yeni değildir. "Gidilmemiş Yollar" (1920) isimli Robert Frost'un şiiri bir atlının eve giden iki farklı yol ile ilgili vermesi gereken kararı irdeler. Frost, "Yol sarı ağaçların olduğu yerde ikiye ayrıldı" diye yazarak her ikisinden gidemiyor olmaktan üzülmüştür. İngiliz oyun yazarı Alan Ayckbourn'un kaleme aldığı *Mahrem Alışverişler* isimli oyun dizisinde açılış sahnesi, oyundaki kahramanların yaptığı basit tercihlere göre on altı değişik sonuç sahnesine dallanır. Her akşam sekiz performans ile bunlardan iki değişik versiyon sahnelenir. Bu oyunlar, Ayckbourn'un yazdığı gibi "yaşantımızda verdiğimiz küçük kararların çok daha büyük sonuçlara neden olduğunu" örnekleyen teatral bir türdür.[1]

Tavşan Deliği ve *Başka Bir Dünya* eserlerinde farklı olan şey, içinde yaşadığımız dünya ile hemen hemen aynı ve eş zamanlı olan çok sayıda para-

1 Alternatif gerçekliklerin konu alındığı başka filmlere örnek olarak: *It's a Wonderful Life/Şahane Hayat* (1946), *Groundhog Day/Bugün Aslında Dündü* (1993), *Sliding Doors/Rastlantının Böylesi* (1998), ve *Back to the Future/Geleceğe Dönüş* (1985). Alternatif bir Avrupa'yı konu alan bir Japon filmi: *Suchîmubôi* (2004), William Gibson ve Bruce Sterling tarafından kaleme alınmış bir roman: *Difference Engine* (1992). Alternatif dünyaları içeren kitaplar: Ray Bradbury, *Martian Chronicles/Mars Yıllıkları* (1950, the third expedition). Diana Jones, *The Lives of Christopher Chant* (1988). Sinema filmleri: *Toki o kakeru shôjo/Zamanda Sıçrayan Kız*, *The Source Code/Yaşam Şifresi*, ve *Lake House/Göl Evi*

lel dünyalardan oluşan alternatif gerçekliğin çok spesifik bir formunu kullanıyor olmalarıdır. Her bir paralel, bilinçli şekilde alınmamış anlık kararlar esnasında birbirlerinden dallanmaktadır. Bu fikir en ihtimal verilmeyecek bir yerden, kuantum mekaniğinin oldukça tartışmalı bir yorumundan ortaya çıkmıştır. Karışıklığa meydan vermemek için iki farklı düşünceyi birbirinden ayrı tutmalıyız: Eşdeğer şekilde gerçek olan pek çok dünyanın var olduğunu söyleyen paralel dünyalar düşüncesi ile içinde yaşadığımız dünyanın tek gerçek dünya olduğunu fakat farklı seçeneklerin takip edilmiş olması durumunda olayların farklı olmuş olacağını söyleyen alternatif dünyalar düşüncesi. Paralel dünyalar düşüncesi, eski hayal ve arzulara kuantum mekaniğinin getirdiği bir diğer yeni bakış açısıdır.

EVERETT'İN ÇILGIN DÜŞÜNCESİ

Son bölümün başında kuantum mekaniğinin, atom altı dünyayı iki farklı bileşenin kesişimi sonucu ortaya çıkıyor olarak tanımladığını söylemiştik. Çok sayıda üst üste binmiş olasılığı barındıran Schrödinger'in denklemi ile bu olasılıklardan birinin gerçek halde gözlenmesini saylayan şeydir. Bu tuhaf resmi aşina olduğumuz günlük hayatımız ile bağdaştırabilmek için fizikçiler üç genel stratejiden birini kabul eder.

Birincisi ve bilindik olanı, Niels Bohr'un yaşadığı şehrin isminin verildiği Kopenhag yorumu olarak anılır. Bu yorum dünyayı, klasik ve kuantum olmak üzere iki farklı bölgeye ayırır. Kuantum dünyası gözlenemeyen ve somut olmayan ve belli gerçek durumların varlık haline gelmesi olasılığını veren Schrödinger'in denklemi ile tarif edilen bir alan tarafından yönetilir. Bu kuantum alanı klasik dünyada bir nesne ile ölçüm veya başka bir etkileşim sayesinde temas haline geldiğinde söz konusu denklem bu temas esnasında buharlaşır ya da "çöker" ve biri hariç bütün diğer olası gerçek durumlar ortadan kalkar. Gerçekleşecek olan olaylar hakkında bilebileceğimiz nihai bilgi bu olasılıklardır.

Kopenhag yorumu kendi içinde o denli tuhaftır ki iki farklı inkârcı grubun ortaya çıkmasına neden olmuştur. Dokuzuncu Bölüm'de tartıştığımız birinci grup ilk bileşeni inkâr eder. Gerçek anlamda üst üste binmiş olma durumu veya bir dalga fonksiyonunun varlığının söz konusu olmadığını iddia ederler ve kuantum alanı hakkındaki bilgimizin eksik olduğunu söylerler. Keşfetmiş olduğumuzdan daha fazla sayıda faktörler var olmalıdır ve bu gizli değişkenleri keşfettiğimizde öngörülebilirdik ve nedensellik yeniden tesis edilecektir. İkinci grup ise ikinci bileşenin varlığını inkar eder. Gerçekleşme-

miş olasılıkların ortadan kalkmasının mümkün olmadığını ve hepsinin varlık halinde olduğunu söyler.

Bu yorum, pek çok bilim kurgu hikâyesine ilham olmuş, insan düşüncesi tarihinde en çok alay edilmiş, en tuhaf ancak en mantıklı düşüncelerden biri olan kuantum mekaniğindeki paralel dünyalar veya diğer ismiyle çoklu dünyalar yorumudur. Çoklu dünyalar düşüncesi Hugh Everett III tarafından ortaya atılmıştır. Everett (1930-1982) kısa ve parçalanmış bir hayat sürdü.[2] Washington D.C.'de doğmuş olan Everett iyi bir model inşacısıydı. Evrenin karmaşıklığını rasyonel formüllere indirgeme tutkusuna sahipti.[3] Ancak bir yandan hayatın anlamını modeller vasıtasıyla bulmaya çalışırken öbür yandan kendi hayatının izini kaybetti.

Everett'in kişisel yaşamı kariyeri kadar değişkendi. Yaşamının sonuna doğru iflas etme noktasına gelmişken, farklı senaryolar için ev kredisi taksiti hesaplamak amacıyla "kazandıran kredi" adında bir bilgisayar programı geliştirmeye çalıştı. Manik depresif hastası olan, uyuşturucu bağımlısı ile evlenmiş ve sonunda kendi de bağımlı hale gelmiş olan kızı intihar etti. Everett sarhoş bir haldeyken geçirdiği kalp krizi sonucu yaşamını yitirdi. Sağlık görevlileri cesedini dışarı taşırken oğlu babasına hayattayken dokunmuş olduğunu hiç hatırlamadığını fark etti. Vasiyeti üzerine eşi, yakılmış bedeninin küllerini çöpe attı.

Everett 1953 yılında fizik eğitimi almak üzere Princeton Üniversitesi'ne girdi. Kuantum mekaniğine ve özellikle dalga fonksiyonu tarafından tanımlanan süperpozisyonun bir ölçüm gerçekleştiğinde buharlaşması veya çökmesi olayına verilen isim olan "ölçüm problemi" konusuna büyük ilgi duydu. Everett, Kopenhag yorumunun evreni, ölçüm işleminin gerçekleştiği ve ölçümü yapanların yaşadığı gerçek belirli dünya ile gerçek olmayan belirsiz kuantum dünyası şeklinde kozmik bir ayrımcılığa maruz bırakıyor olması fikrinden hoşlanmamıştı. Kuantum dünyasına hükmeden dalga fonksiyonunun sürekli bir şekilde gelişiyor iken biri hariç bütün diğer olasılıkları esrarengiz bir şekilde ortadan kaldıran ve klasik dünyadan gelen ölçüm işleminin ise ani ve süreksiz olmasını tuhaf buldu.

John Wheeler'in danışmanlığında yazılmış olan doktora tezinde Everett (1957), bu kafa karıştırıcı meseleyi son derece basit ancak bir o kadar sı-

2 Everett'in biyografisi için bkz. Peter Byrne, *The Many Worlds of Hugh Everett III: Multiple Universes, Mutual Assured Destruction, and the Meltdown of a Nuclear Family*, Oxford University Press, New York, 2010 ve R. Crease'in yorum yazısı, *Nature* 465, 2010, s. 1010-11. Makale dizisi için bkz. Bryce S. DeWitt ve Neill Graham (der.), *The Many-Worlds Interpretation of Quantum Mechanics*, Five Mile Mountain Press, Kathmandu, 1980.

3 Byrne, *Many Worlds*, s. 11.

ra dışı bir yöntem ile bertaraf etmenin yolunu buldu. Bir kuantum sistemi ölçüldüğünde veya başka herhangi bir şekilde klasik dünya ile temasa geldiğinde üst üste binmiş olan olasılıklar ortadan kalkmaz. Söz konusu sistem, her biri içinde yaşadığımızla neredeyse tıpatıp aynı olan ikizlerden oluşan paralel dünyalara ayrışır. Bu dünyaların da her biri aynı şekilde ayrışarak dallanır. Dallanma noktalarının her biri kuantum dünyasının klasik dünya ile temasa geldiği noktalardır. Everett'in kendi sözleri ile:

> Her bir müteakip gözlem veya ölçüm ile, gözlemcinin durumu çok sayıda farklı duruma dallanır. Her bir dal, ölçüm işleminin farklı bir sonucunu ve buna karşılık gelen nesne-sistem öz durumlarını temsil eder. Bütün dallar, ölçüm işlemleri sonucu superpoze olmuş şekilde eş zamanlı olarak varlık halindedir.

Görünüşe göre gözlemcinin durumu, sadece Frost'un iki yolunu değil fakat olası bütün yolları aynı anda kat etmektedir.

Everett tezinin kısa bir versiyonunu *Reviews of Modern Physics* dergisine özel bir sayı için gönderdi. Sayının editörü olan Bryce DeWitt, Everett'in çalışmasını tutarlı fakat "ben dallara ayrılmıyorum" diyerek mantıksız buldu. DeWitt, Everett'e yazarak kuantum mekaniğinin esas kafa karıştırıcı meselesine, dalga fonksiyonu tarafından tanımlanan olasılıklardan ölçüm işlemi vasıtasıyla meydana gelen gerçek duruma nasıl geçiş yapıldığı konusuna değinmemiş olduğunu söyledi. Buna cevaben Everett, makalesine bir dipnot ekleyerek teorisinin bu meseleyi çok basit bir yolla hallettiğini söyledi. Teorisinde bu şekilde bir geçiş söz konusu değildi. Dipnot şu şekilde devam etti:

> Bu teorisinin bakış açısına göre süperpozisyonun bütün parçaları (bütün dallar) gerçektir. Hiçbiri bir diğerinden daha gerçek değildir. Süperpozisyonun bütün parçaları, bir diğerinin varlığından veya yokluğundan (gerçekleşmiş olması veya olmaması) bağımsız olarak kendi başına dalga fonksiyonuna riayet ettiğinden dolayı biri hariç bütün diğerlerinin bir şekilde imha olduğunu düşünmek gereksizdir. Bir dalın bir diğer dal üzerinde hiçbir etkisinin olmaması gerçeği hiçbir gözlemcinin söz konusu ayrışma sürecinin hiçbir zaman farkında olmayacağını ima etmektedir.

Konuya şüpheyle yaklaşanlar "gerçekten ayrışmanın farkında olmayacağız öyle mi?" diye sordu. Everett dipnotunda şu vurguyu yaptı:

> Bu teorinin ortaya koyduğu dünya modelinin, ayrışma sürecinin farkında olmayışımızdan dolayı deneyimlerimiz ile çelişki içinde olduğuna yönelik

> iddialar, fiziksel bir gerçeklik olarak dünyanın hareket ediyor olması teorisinin bu hareketi hissetmiyor olmamızdan dolayı mantıklı bir doğa yorumu ile çelişki içinde olduğunu söyleyen Kopernik modeline yöneltilmiş eleştiriler gibidir. Teorinin açıkladığı gerçeğin zaten deneyimlediğimiz şey olduğunu gördüğümüzde her iki eleştiri geçersiz hale gelir.[4]

DeWitt, sonrasında Everett'in teorisinin savunucularından biri oldu ve öğrencisi Neill Graham ile beraber konu hakkında pek çok makale kaleme aldı. Everett'in teorisinin naif realizme ve formalizm ile gerçeklik arasında doğrudan bir ilişki olabileceğine dair eski düşüncelere bir dönüş çağrısı olduğuna işaret ettiler.[5] Ancak bu tam olarak doğru değildir. Alternatif dünyaları, dalga fonksiyonu formalizmini onlara karşılık gelecek şekilde görmenin tek akla uygun yöntemi onlara dışarıdan bakmaktır. Yani hiçbirini gerçek anlamda gözlemeden tanrısal bir gözün bakışı ile bakmaktır. Eğer bir insan bu dünyalardan birini gözlüyor ise kendisi gözlemekte olduğu dünyanın bir parçasıdır ve diğerlerini görmesi mümkün değildir. Schrödinger'in kedisi olayında iki olasılığın aynı anda varlık halinde bulunması ancak kutunun dışındaki biri için söz konusudur. Ancak gerçek evrende hepimiz kedinin durumundayız. Kedinin gözüyle sadece tek bir gerçeklik varlık halindedir.

Dalga fonksiyonu buna ek olarak bir öngörü aracıdır aynı zamanda. Ancak fonksiyon, bu noktadan itibaren sisteme ne olacağı hakkında mümkün olan en iyi bilgiyi vermeye çalışır. Schrödinger'in denklemi geleceğe yönelik bir tahmindir. Süperpozisyonun olabilmesi için ya olayın en başında ya da dışında yer alıyor olmanız gerekir. Bir hesaplama aracı olarak bakıldığında, sistemin gerçekten bütün bu durumlarda aynı anda bulunduğunu ima etmez. Sadece onların gerçekleşme olasılıklarını ifade eder. Kedinin ölü mü yoksa diri mi olduğunu söylemez; bunun için icat edilmemiştir. Örneğin Sekizinci Bölüm'ün ara faslında bahsini ettiğimiz çift yarık deneyinde, elektronun burada veya orada olup olmadığını söylemez. Elektronun burada veya orada olma olasılıklarını söyler. Söz konusu olasılıkların ortadan kalkması, lotoyu kimin kazandığı belirlendikten sonra benim veya bir başkasının kazanma olasılığının ortadan kalkmasından daha tuhaf değildir. Ancak öbür yandan Everett'in düşüncesi bütün bu üst üste binmiş olasılıklara bir gerçeklik verir. Bu düşünce biraz hilelidir, ancak halen ayakta kalır çünkü hiçbir olasılık durumunun bir diğerini görememesi şeklinde bir görünmezlik durumunun varlığını varsayar.

4 Hugh Everett, III, "'Relative State' Formulation of Quantum Mechanics", *Reviews of Modern Physics* 29, 1957, s. 141-49, Tekrar basımı; DeWitt ve Graham, *Many-Worlds Interpretation*.

5 DeWitt ve Graham, *Many-Worlds Interpretation*, s. v.

Everett'in düşüncesindeki bir diğer tuhaf özellik ise alternatiflerin birbirinin kopyası olmasından ötürü farklı geometrik konumlarda cereyan etmiyor olmalarıdır. Her biri aynı zaman ve mekânda meydana gelir. Paralel dünyalar konumsal anlamda birbirinden ayrılmış değildir. Bir ölçüm esnasında bütün olasılıklar aynı anda aynı konumda meydana gelir. Ama bu nasıl olur? Ölü kedi yerde yatıyorken diri kedi ise yanında ayakta mı duruyor?

Einstein'ın yaklaşımına göre kuantum mekaniği sahip olduğumuz naif gerçeklik anlayışına uymamaktadır. Everett'in yaklaşımı ise, her şey aynı anda gerçekleşiyor olabileceğinden dolayı, bu gerçeklik anlayışını daha gösterişli biçimde yeniden tanımlamak şeklindeydi. Everett'in yorumu nedenselliği yeniden tesis eder ve gerçeklik düşüncesini değiştirerek dalga fonksiyonunun çöküşü kavramını bertaraf eder. Sadece tanrısal bir sezginin gözünden bütünün gerçek olduğu sonsuza dallanan sonsuz sayıda gerçek dünyaların varlığını öne sürer. Princeton Üniversitesi'nden arkadaşı Charles W. Misner "Sonucunu hazmedemeseler dahi Everett'in mantığında kimse hata bulamaz" diye yazmıştır. Bu ikileme karşı gösterilen en yaygın tepki basitçe Hugh'un çalışmasını görmezden gelmek olmuştur.[6] Nihayetinde Everett bu çalışma alanını terk etti ve kuantum mekaniği hakkında bir daha çalışma yayınlamadı.

Neyse ki Soğuk Savaş dönemi modelciler ve oyun sever için büyük fırsatlar meydana getirmişti. Yapılan çalışmalar nükleer savaş stratejilerinin sonuçlarının takip edildiği askeri araştırmalara yönelikti. Lojistik problemlerde sonuçların hesaplanması için kullanılan geleneksel Lagrange çarpanı metodunu daha da geliştirerek keşfettiği "Everett Algoritması" sayesinde Everett bu alanda daha büyük bir saygı gördü. 1950'lerde ve 1960'larda nükleer savaş stratejilerinin geliştirilmesi ve ölümcül nükleer serpintilerin etkilerinin tahmin edilmesi konularında Pentagon'un çok gizli Silah Sistemleri Değerlendirme Grubu'nda ve Lambda Corporation isimli askeri bir Think Tank kurumunda görev yaptı.

ŞİZOFRENİNİN İNTİKAMI

Everett'in ilk editörü ve şüphecisi olan DeWitt bir süre sonra fikrini değiştirdi. 1970'te Everett'in kuantum mekaniği konusundaki düşüncesine dikkatleri çekmek amacıyla, *Physics Today* dergisinde, kendi tabiriyle "kasıtlı sansasyonel" bir yazı yayınladı. Bu yazısında teoriye "çoklu dünyalar" ismini verdi.

6 *A.g.e.*, s. xii.

DeWitt'in bu çarpıcı yazısı insanların uyanmasını sağladı. Evrenin her uzak köşesinde yer alan her bir galaksinin her bir yıldızında meydana gelen her bir kuantum olayı, içinde yaşadığımız dünyayı kendinin sonsuz sayıda kopyasına bölmektedir. Bu, şizofrenin intikamıdır."[7] Yine de pek çok fizikçi, her bir parçacık için farklı bir koordinat değişkenine sahip ve bütün kâinata ait bir makroskobik dalga fonksiyonunun var olduğu ve farklı olasılıklar için sürekli olarak farklı versiyonlara bölündüğü şeklindeki Everett'in düşüncesini mantıklı fakat işe yaramaz bulmaya devam etti.

Nature dergisi 5 Temmuz 2007'deki kapağında bilim insanlarının genel yaklaşımını güzel şekilde yansıttı. Kapak, 1950'lerden kalma bir bilim kurgu filminin afişine ait bir taklitti. *Nature* dergisinin "Süper Bilimin Şaşırtıcı Hikâyeleri" isimli sayısı, Everett'in teorisinde kendi kopyalarının farkında olamayacağı ve onlarla hiçbir iletişim içinde olamayacağı kuralı olmasına rağmen, kendi gerisinde sonsuza uzanan kopyalarına bakarken çığlık atmak üzere olan bir kadını resmediyordu. Dergide geçen yazı "Çoklu Dünyalar: En Büyük Kuantum Tuhaflığının Elli Yılı" başlığını taşıyordu.



***Nature* dergisi, 5 Temmuz 2007 (Nature Publishing Grous'un izniyle).**

Pek çok bilim insanı, Everett'in teorisinin ortaya hiçbir yeni öngörü koymuyor olması, dallanmalar sırasında her bir dünyanın kopyasının korunuyor olması ve bir problemi bertaraf etmek için gözleyemeyeceğimiz sonsuz sayıda dünyaların varlığını ortaya atıyor olmasının bu teorideki en önemli problemler olduğunu düşünüyordu. Okam'ın usturası ilkesini (en iyi açıklamanın en ekonomik açıklama olduğunu söyleyen ilke) açıkça ihlal ediyor olmasından dolayı bu teori, "gerçeklik" kavramını tamamen anlamsız hale getiriyordu. Paralel dünyaları barındırmayan çözümler dururken bir problemi irdelemek için neden sonsuz sayıda bilinemez evrenlerin varlığını ortaya atalım ki? Bu bakış açısı, evrene dışarıdan bakan biri için geçerli olan bakış açısıdır ve dünya söz konusu kişi olup bitenleri görmeden akmaya de-

7 DeWitt ve Graham, *Many-Worlds Interpretation*, s. 161.

vam eder. Aradan bir süre geçtikten sonra bu kişi sorar; "Neleri görebilirim?" ve dalga denklemi cevap verir; "Bunlar, görmen muhtemel olan şeylerdir!" Fakat bunlar, sadece bir dizi olasılıktır. Gerçeklikler değildir. Ve zaten dünyaya dışarıdan bakabilen böyle bir kişi de yoktur.

Everett'in teorisi bu noktada sadece bir yorumdur. Herhangi bir öngörüde bulunmaz ve bu nedenle yanlışlanabilir değildir. Bu nedenle Schrödinger'in kedisi örneğinde olduğu gibi pek çok fizikçi tarafından görmezden gelinmiş olsa da (ancak kozmologlar gibi evreni dışarıdan bir bütün şeklinde görme düşüncesine eğilimli olan bilim insanlarının ilgisini çekmiştir) popüler kültürde çok bilindik bir düşünce haline gelmiştir.

KURGUSAL OLARAK CAZİP

Slaughterhouse-Five romanında Kurt Vonnegut, Tralfamador gezegeninde yaşayan yaratıklara, benzer bir dışarıdan-bakabilme özelliği vermiştir.

> Tralfamador'da öğrendiğim en önemli şey, bir kişi öldüğünde onun sadece ölüyormuş gibi göründüğü olmuştur. Geçmişte halen tamamen canlıdır. Bu nedenle insanların cenazesinde ağlamaları saçma. Bütün anlar, geçmiş, gelecek ve şimdiki an, her zaman var idi ve her zaman olacak. Örneğin Tralfamadorlular, uzanıp giden Rocky dağlarına bakabiliyor olmamız misali bütün bu farklı anlara bakabilirler. Bütün bu anların nasıl kalıcı olduğunu görebilirler ve ilgilerini çeken bütün anlara bakabilirler. İpe dizili boncuklar gibi bir anın diğerini takip ediyor olması ve geçen bir anın sonsuza dek gitmiş olması Dünya üzerinde geçerli olan bir illüzyondur.
>
> Bir Tralfamadorlu bir ceset gördüğünde tek düşündüğü şey, onu gördüğü zaman anında ölü kişinin kötü bir halde olduğudur. Ancak aynı kişi pek çok başka zamanında gayet sağlıklıdır. Şimdi ben de artık bir kişinin ölü olduğunu duyduğum zaman omuzlarımı silkiyorum ve Tralfamadorluların ölü kişi hakkında söylediğini söylüyorum; "Hayat bu".[8]

En uzun süreyle yayınlanmış bilim kurgu yapıtı olan İngiliz televizyon dizisi Doktor Who, Zaman Lortları adıyla bilinen karakterlere sahipti. Bu kişiler kutunun dışında bulunabildiği gibi içinde istedikleri yere gitme yeteneğine de sahipti.

> Mickey: Dergilerde görmüştüm. İnsanlar bir alternatif dünyadan diğerine geçiyor. Çok kolay.
>
> Doktor: Gerçek dünyada değil. Eskiden kolaydı. Zaman Lortlarının gözünü nesnelerin üzerinde tuttuğu zamanlarda. Sonra öldüler. Ve her şeyi

8 Kurt Vonnegut, *Slaughterhouse-Five*, Delacorte Press, New York, 1969.

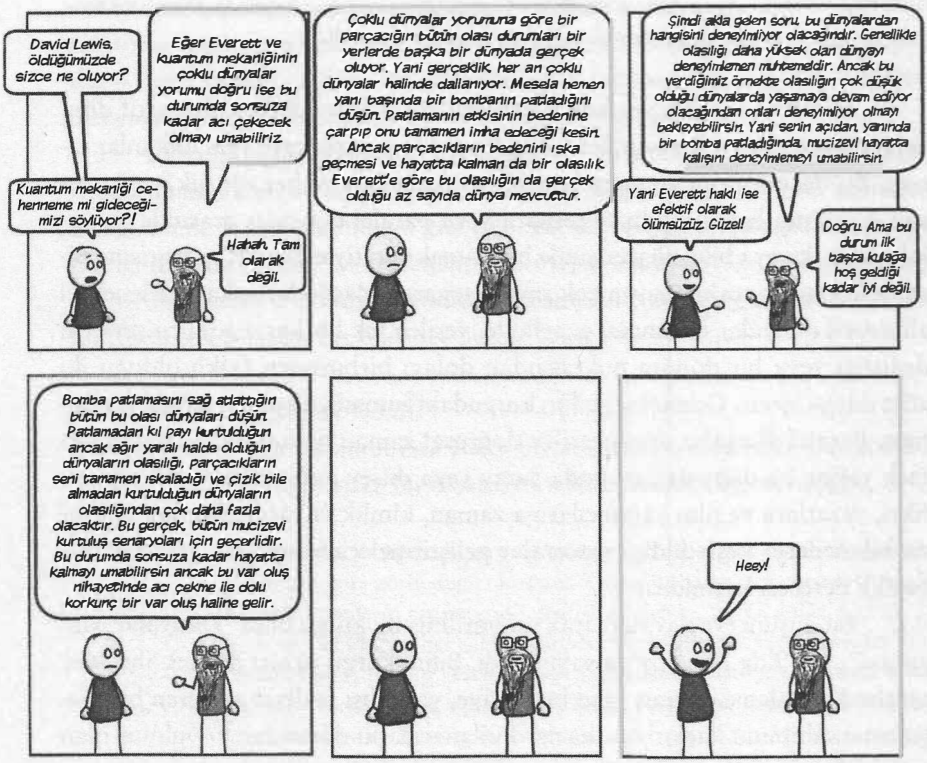
> beraberlerinde götürdüler. Gerçekliğin duvarları kapandı. Dünya mühürlendi. Ve her şey biraz daha az güzel hale geldi.[9]

Everett ve DeWitt'in konuya çektikleri bilimsel dikkat alternatif dünyalar düşüncesini daha popüler hale getirdi ve bu düşünceye yeni imkânlar tanıdı. Bu düşünce roman yazarları, film yapımcıları ve her tür hikâye yazarı için Tanrı'nın bir lütfuydu. Alternatif veya paralel dünyalar arasında yolculuk yapmak veya bilgi alışverişinde bulunmak suretiyle Everett'in teorisine biraz hile katarsanız karşınıza çok sayıda senaryo olasılıkları çıkar. Geleneksel alternatif dünyalar düşüncesi genellikle, verilen tek bir karar sonucu şeylerin değiştiği veya bir dönüm noktasından dolayı birbirinden farklı olduğu iki adet dünya içerir. Geleneksel bilim kurgudaki zaman yolculuğu gibidir bu durum. Paralel dünyalar düşüncesi ve doğrusal zaman boyutunda ileri-geri gitmek yerine bu dünyalar arasında yatay veya düşey anlamda geçiş yapılması fikri, yazarlara ve film yapımcılarına zaman, kimlik ve tarihsellik konularında bilimcilerin keşfedildiği maceralar geliştirmelerini sağlayan yeni bir serbestlik derecesi kazandırır.

Bu düşünceye dayalı olarak geliştirilmiş ilk kurgu olan "Dünyalar Mağazası", 1959'da *Playboy*'da yayınlandı. Bilim kurgu yazarı Robert Sheckley tarafından kaleme alınmış olan bu hikâye, yasa dışı faaliyet gösteren bir mağazanın sahibinin ilaçlar ve cihazlar kullanarak bu dünyadan kovulmuş olan müşterilerini, gizli tutkularını yaşamak için kendi dünyamızdan kopyalanmış olan alternatif dünyalara gönderdiği bir senaryodan meydana gelir. Derginin tipik okurları için hayal kırıklığı oluşturacak şekilde hikâyede cinsellikten bahsedilmez. Sadece dünyası imha olmuş kişilerin yeni ve normal bir dünya arayışı konu alınır.

Sheckley'nin hikâyesindeki senaryo, sonrasında yazılmış olan paralel dünyalar temalarına kıyasla ilkeldir. Daha karmaşık olasılıkları ele alan daha detaylı senaryolar kısa sürede ortaya çıkmaya başladı. Larry Niven'in "Bütün Sayısız Yollar" (1971) isimli kısa hikâyesi alternatif dünyalara yolculuğun ahlâki bir nihilizme yol açacağı mesajını verir. Paralel dünyalara yolculuğun keşfedilmesinden sonra meydana gelen suç dalgasından şaşkınlık içinde olan bir polis detektifi paralel olasılıkların keşfedilmesinin ahlâki karar vermeyi anlamsız hale getirdiğini görür. Çünkü bütün eylemlerin, suç teşkil etse dahi, diğer eylemlerden farksız olduğu düşüncesi ortaya çıkar. Bu nihilist mesaj aşağıdaki karikatürde de görülmektedir.

9 *Doctor Who*, Bölüm 5, Seri 2, 10. Doktor.



Ryan Lake.

Ayrıca aşağıdaki karikatür:



"David çoklu evrenlere inanıyor – ama hepsi işe yaramaz evrenler"

Lee Lorenz (The New Yorker Collection/www.carroonbank.com).

Jet Li'nin başrolde oynadığı ve en üstün güce erişme konusunu işleyen *The One/Tek* filminde (2001) aksiyon tarzı bir yaklaşım benimsenmiştir. Filmde her bir kişinin değişik versiyonlarının yer aldığı çok sayıda evren vardır. Versiyonlardan biri öldüğünde diğer evrenlerdeki kalan versiyonlar daha güçlü hale gelmektedir. Bu durumun farkına varılmasının ardından evrenler arasında insanları takip edebilecek bir multievren polis gücü oluşturulur ve insanların diğer evrenlerdeki versiyonlarını öldürmelerine engel olunmaya çalışılır. Ancak polislerden kaçmayı basarmış biri neredeyse bütün diğer versiyonlarını öldürerek sonsuz bir güce erişmeye yaklaşır.

Neal Stephenson'un romanı *Anathem* (2008), paralel dünyaları işleyen bilim kurguların sofistike bir örneğidir. Roman, paralel dünyalarda yaşayanların arasında yaşanan bir karşılaşmayı konu alır. Romanda geçen farklı dünyaların sakinleri, biyolojik olarak dahi birbirlerinden bir miktar farklıdır (örneğin hangi tür yiyecekleri sindirebiliyor oldukları gibi).

Everett'in teorisi, Griffin'ler diye bilinen ise yaramaz bir ailenin konu alındığı *Family Guy* isimli çizgi komedi dizisi de dahil olmak üzere pek çok TV filminde kullanılmıştır. Bu dizinin yıllar önce yayınlanmış "Multievrene Giden Yol" isimli bölümünde Griffin ailesinin bebeği Stewie ve köpekleri Brian paralel evrenleri dolaşmak için bir uzaktan kumanda cihazı kullanır. Vardıkları evrenlerden birinde köpekler efendidir ve insanlar itaat etmektedir. Brian bu evrenden gitmek istemez.

Paralel dünyalar düşüncesi, Londra Superflux atölyesinden Jon Arden ve Anab Jain gibi heykeltıraşlar için de ilham kaynağı olmuştur. Birlikte 5. Boyut Kamerası (2010) isimli çalışmayı yaptılar. Teknoloji ve haberleşme temalarını birleştiren objelerin bulunduğu bu çalışma 2011'de New York Modern Sanatlar Müzesi'nde "Konuş Benimle" isimli bir sergide yer aldı. Eserleri, bir tripota monte edilmiş ve kırmızı renkli boğa boynuzuna benzer bir koniye iliştirilmiş bir kamerayı andırıyor. Koni, duvarda yatay ve düşey olarak düzenlenmiş bir dizi resim karesine dönüktür. Resimlerin her biri aynı yerde çekilmiş ve aynı tarih ve saati –11-25-2012, 15:09:38– gösteren resimlerdi. Ancak her birinde bir şeyler az bir miktar değişik şekilde görünür: Bisiklet sürücüleri, sigara içenler, tartışan çiftler, evsiz insanlar ve insanların yer almadığı kareler.

Etiketin üstünde şöyle yazıyordu:

> Fizikçi Hugh Everett'in 1957'de ortaya attığı çoklu dünyalar teorisine göre, zamanı doğrusal olarak deneyimliyor olmamıza rağmen, her biri paralel zaman çizgileri boyunca uzanan ve birinin diğerinde gerçekleşen olayların sonuçlarını etkileyebileceği sayısız paralel evrenlerin varlığı söz konusudur.

Elbette Everett'in teorisinin temel kuralı, paralel dünyaların birbirleri için gözlenemez olması ve birinin diğerini etkileyememesidir. Sanat çalışmalarında bazen bilimsel gerçekler saptırılabilir. Etiket şöyle devam eder:

> Çoklu lenslere sahip metaforik bir nesne olan 5. Boyut Kamerası, bütün bu değişik dünyaları aynı anda nasıl gözleyebileceğimiz düşüncesini irdeler. Herhangi bir kararın veya eylemin neden olduğu bütün olası dallanmalar, içinde bulunduğumuz doğrusal zaman çizgisinden dallanarak ayrılmış olan bütün alternatif dünyalardan teorik olarak görünür halde olur.

5. Boyut Kamerası, Dünyalar Mağazası'ndaki eğlenceden, *Anathem*'in kafa karıştırıcı karmaşıklığından ve *Family Guy* dizisinin multievren bölümündeki komediden daha akla hitap edicidir. Kendi dünyamız dışında başka dünyaların nasıl geliştiğini görmemizi sağlayan bir teknolojiye sahip olmanın nasıl bir şey olduğunu anlamaya yönelik entelektüel bir tatmin ediciliği olan bir çalışmadır.

CAZİBE

Paralel dünyalar düşüncesi, doğru ya da yanlış yolu tercih etme konusunda insanın sahip olduğu endişeye temas eder. Bu düşünce, hayali de olsa, her iki yoldan gitmenin veya geçmişimizi yeniden yazmanın nasıl bir şey olduğunu irdelememizi sağlar. Bir psikolog (ve hastası) "Öbür türlü yapmış olsaydım keşke!" demenin güçlü iç tepkisinden bahsetmeyi sever. Bunu söyleme ihtiyacına ve öbür türlüsü yapılmış olsaydı sonucun ne olacağını hayal etmeye atıfta bulunur. Farklı bir karar vermiş de olabilirdik ihtimalini aklımızdan geçirmenin bile güven verici olduğunu görürüz. Bu düşünce kimliğimize hayal edebildiğimiz bir değişim verir. Gerçeklik kavramı için, var olanın ötesinde olasılıkların olduğuna dair ipucu verir. Var olanın mümkün olan tek gerçek olduğu yönündeki korkumuza dokunur ve bu korkuyu kullanır. Kendimize rakip olmamızı ve daha iyisini yapabilirdik diye düşünmemizi sağlar ve bunun başka bir dünyada gerçekleşmiş olduğunu hayal etmemize izin verir.

Paralel dünyalar hakkındaki meyvelüperleri ise alternatif dünyalarla gerçek anlamda irtibat kurma yeteneğine sahip olduğumuzu iddia eder. Bunun örneklerine internette kolayca rastlayabilirsiniz. İnternette gerçekten bu iddianın çalıştığı paralel dünyalar vardır ve bu dünyalardan birinde çok başarılısınızdır ve kendinizden öğreneceğiniz çok şey vardır.

Paralel dünyaların kurgusal kullanımı, bu dünyaların varlığını sahte bir şekilde ortaya koyma yoluna gitmeden, farklı olasılıkların üzerinde düşünme-

mize yardımcı olur. İçinde bulunduğumuz gerçekliğin tek gerçeklik olduğu düşüncesi (vermiş olduğumuz yanlış karara mecbur oluşumuz) gerçekten korkutucudur. Başka türlü olabilirdi şeklindeki özlem dolu düşünce bundan daha umut doludur. Negatif yönden bakarsak bunun bir kaçış hayali (kendinizin bir başka versiyonu ile karşılaşma hayali) olduğunu söyleyebiliriz. Her şeyin güzel olduğu fakat ondan kopuk ve uzaklaşmış olduğumuz bir versiyona özlem duymaktır. Sonlu olduğumuz gerçeğini bastırmaya çalışmaktır. Pozitif yönden bakarsak bu düşünce, sonlu olduğumuz gerçeğini kabul etmemize yardımcı olur. Tavşan Deliği hikâyesinde bu düşünce Jason'a, başka türlü ifade edemeyeceği suçunu ve pişmanlığını kendi kendisine ifade etmesine olanak sağlar. Atom altı dünya ile değil, kendi yaşamı ile başa çıkmayı hayal eder. Aynı şekilde ölen çocuğun annesi olan Becca'ya da yardımcı olur. "Orda bir yerlerde mutlu olduğum bir dünya var" diye düşünceye dalar.

Başka Bir Dünya'da ortaya konan paralel dünyalar bilimsel olarak mümkün değildir. Dünyamızın tıpatıp aynısı bir gezegenin oluşmuş olması, bugüne kadar tespit edilmemiş olması, alternatif dünyalar arasında insanların seyahat etmesi ve benzeri düşünceler olanaksızdır. Ancak insani açıdan bu şekilde bir kozmik mekanizmanın kullanılması ikna edicidir çünkü Rhoda'nın üzüntüsünü ve pişmanlığını sergilemeye yardımcı olur. Nihayetinde Rhoda paralel dünyaya bir seyahat kazanır. Ancak Rhoda (yaşlı bir Hintli hademenin tavsiyesini dinleyerek) kendi paraleli ile karşılaşmakla bir şey öğrenmeyeceğine karar verir. Kendini tanıma bilgisi elde edilmesi oldukça zor bir bilgidir ve nihayetinde gerçek olmasını istediğimiz hayaller ağır basar. Öğrencilerimizden biri bu filmi seyrettikten sonra "rastlayabileceğiniz en sıra dışı karşılaşma kendiniz ile karşılaşmanızdır" diye ifade etmiştir. Filmde, kendisinin yaptığı hatayı yapmamış olan kendi paraleli ile karşılaşma arzusuna kapılan bir Rhoda görüyoruz. Ancak bunun kendisine bir faydası olmadığını fark ettiğini de görüyoruz. Kendisinin bir başka versiyonu ile karşılaşma düşüncesinin Rhoda'nın kendi içinde bulunduğu duruma ve geçmişine gösterdiği hassasiyeti arttırıyor. Bu düşünce, paralel dünyadan daha ziyade bu dünyaya odaklanmasını sağlıyor. Kendisinin paralelini izlemek suretiyle hayali gerçek yapma düşüncesine olan ilgisini kaybediyor ve biletini hayatını mahvettiği adama olan John'a veriyor. Çünkü bunun John ve ailesi için daha büyük değer taşıdığını düşünüyor. Rhoda için o an önemli olan şey sadece kendisini değil, John ve ailesinin başına gelmiş olanlar dahil olmak üzere bütün durumu ileri taşıyor. Gerçekleşmesi imkânsız olan bir senaryo içeren bu film bize bir gerçeği sunuyor; Rhoda'nın "kendim için her şeyin nasıl değişik olmuş

olabileceğini görmek istiyorum" düşüncesinden "John'un ailesi için her şeyin nasıl değişik olmuş olabileceğini görmesine izin vermek istiyorum" düşüncesine geçiş yaptığını gösteriyor.

Bu imkânsız senaryo bizlere söz konusu üzücü durum için mümkün olan bir çarenin ne olduğunu gösterir ve bizlere çare düşüncesi hakkında bir ders verir. Oyunda Rhoda'yı canlandıran ve senaryo yazarlarından biri olan Brit Marling, *New York Times*'a "Bilim kurgularda bazen, bütün kuralları takip etmiş olmaya kıyasla gerçeğe daha fazla yaklaşabilirsiniz" demiştir.[10]

Hepimiz kırılgan balonların içinde yaşarız, olasılıkları açan ve kapayan balonların içinde. Yukarıdaki imkânsız senaryo bizleri bu insan gerçeğine, sonlu oluşumuzla alakalı olan gerçeğe yaklaştırır. Bilim tarihinin gerçekçi ve mantıklı görünmeyen düşüncelerinden biri olsa da paralel dünyalar teorisi yine de insanlık anlayışımızı yükseltmemize yardımcı olur.

10 "On View: It's Fashionable to Take a Trip to Another Universe", *The Nem York Times*, 26 Temmuz 2011.

MULTİEVRENLER

Dersimiz esnasında paralel dünyalar düşüncesini tartıştığımızda bazı öğrencilerimizin kafası karışıyor. Çünkü bu düşünceyi, yakın zamanda bilimsel yayınlarda kendini göstermiş olan ve başka evrenlerin varlığı olasılığını ihtiva eden multievren teorisi ile karıştırıyorlar. Bu teori şu şekilde ortaya çıkmıştır: Günümüzde fizik biliminin geldiği noktada, sahip oldukları değerlerin nereden geldiği hakkında hiçbir açıklamamızın olmadığı bazı parametreler vardır. Bu parametreler çok sayıda farklı değere sahip olabilir ve bu değerlerin çoğu için yaşamın ortaya çıkması mümkün değildir. Bu nedenle var oluşumuz söz konusu parametrelerin buna uygun değerlere sahip olmasına bağlıdır. Bu parametrelerden birine örnek, hidrojen atomunun çekirdeğinin, yani protonun kütlesinin, atomu meydana getirmek üzere bu çekirdeğe bağlı halde bulunan elektronun kütlesine oranıdır. Buna benzer pek çok parametre vardır. Multievren teorisi, gözleyebildiğimiz sınırların ötesinde, bizimkinden çok farklı ve rastgele belirlenmiş özelliklere sahip çok sayıda başka evrenin var olduğu iddiasını içerir.

Bu durum şu şekilde gerçekleşir: Sicimlerin davranışlarında meydana gelen kuantum dalgalanmaları, küçük ebatta başlayıp sonrasında genişleyen kabarcık evrenlerin ortaya çıkmasına neden olabilir. Sicimlerin koşullarına bağlı olarak nihayetinde ortaya çıkacak fiziksel parametreler şansa bağlı hale gelir. Bu süreç, olası evrenler tablosunun ortaya çıkmasını sağlar. Elektronun kütlesi ve elektrik yükü gibi fizikçilerin temel sabitler olarak tanımladığı değerler gözleyebildiğimiz evrenin erişilemeyecek kadar çok ötesinde diğer evrenlerde çok farklı olabilir. Başka bir evrende elektron benzeri bir parçacık varlık halinde dahi olmayabilir. Sonuç olarak bildiğimiz haliyle yaşam, söz konusu başka evrenlerin çoğunda mümkün olmayabilir. Bu düşünceye göre içinde yaşadığımız evrende gördüğümüz düzeni görebiliyor olmamızın nedeni, bundan çok farklı başka bir durumun yaşamımızı zaten imkânsız yapacağı gerçeğidir. Dolayısıyla burada olmazdık ve hiçbir şey de göremezdik! İnsanlar tarafından gözlenebilecek tek evren, içinde insanların var olabileceği evrendir diyen bu düşünceye "antropik-ilke" adı verilmiştir.

Bu düşünce, Everett'in teorisi gibi hafife alınmadı ancak itiraz edenler de oldu. En temel itiraz, evrenin söz konusu özelliklerini hiçbir zaman açıklayamayacağımızı ima ediyor olmasına yöneliktir. Bu, bilimin dünyayı anlamak için daha da derinlere inme çabasından vazgeçmek anlamına gelir. Çünkü belli bir noktada ötesine geçilemeyen sınıra erişilir.

Böyle bir öneri ilk defa multievren düşüncesinde ortaya konmamıştır. 19. yüzyılın sonlarında keşfedilebilecek önemli her konunun keşfedilmiş olduğunu düşünenler vardı. Ancak sonuçta bu iddianın çok hatalı olduğu görüldü. Kitabımızın konusu doğrultusunda söylememiz gerekir ki kuantum mekaniğinin keşfi, o dönemlerde kimsenin radarında olmayan bir gelişmeydi. Daha yakın zamana baktığımızda bilim yazarı John Horgan'ın *Bilimin Sonu* (1996) isimi ile yayınladığı kitabını görüyoruz; kitabın ismi konusunu açıklıyor. Bu kitap, henüz sicim teorisinde kendini göstermediği haliyle antropik ilke hakkında John Barrow ve Frank Tipler'in yazdığı kitap ile hemen hemen aynı döneme

denk gelir. Pek çok bilim insanı bu ilkeyi, evrenin (ve içindeki insanların) nasıl ortaya çıktığını açıklamada belli deneyler için gerek duyulan sonuçları öngörmek adına farklı şekillerde kullandı. Bu yaklaşımda, söz konusu sonuçların daha temel kavramlar ile hiçbir zaman açıklanamayacağı iddia edilmez. Büyük sayıda olası parametre değerleri (bu değerlerin herhangi bir evrenin gelişimi sırasında rastgele belirlendiği düşünülür) ile sicim teorisinin ortaya koyduğu tablo, teorik fizikçi Michael Douglas'in (o zaman Rutger's ve şimdilerde Stony Brook Üniversitesi'nde görev yapıyor) 2003'teki makalesinde ortaya çıktı.[11] Farklı yerlerde var olan bu çok sayıdaki evren düşüncesi, Everett'in tek bir evren için ortaya koyduğu ve bu evrene ait farklı olasılıkların aynı yerde ve aynı zamanda beraberce varlık halinde olmasına karşılık gelen dalga fonksiyonu düşüncesinden çok farklıdır.

Sicim teorisi ile alakalı olan multievren düşüncesine geri dönecek olursak, başlı başına evrenler belirleyebilen kuantum dalgalanmalarının nasıl var olabildiği sorusunu sorabiliriz. Bu sorunun cevabı, sicim teorisinin ortaya koyduğu, ilk başta son derece lokalize halde başlayan ve sonra başlı başına evrenler meydana getirecek şekilde hızla genişleyen (ve halen genişlemeye devam eden!) kuantum dalgalanmalarının hüküm sürdüğü bir tablo ile verilir. Çok büyük bir evren ölçeğinde ahengini koruyan dalgalanmaların varlığını gerektiren Everett'in düşüncesinden farklı olarak bu teoride sadece çok küçük bölgelerde gerçekleşen dalgalanmalar söz konusudur. Bu dalgalanmalar, genişlemekte olan her bir evrenin fiziksel yasalarını tanımlayan ve genişleme süresince değişmeden kalan parametrelerin başlangıç koşullarını ayarlar.

11 Michael Douglas, *Journal of High Energy Physics* 0305, 2003, s. 46.

ON İKİNCİ BÖLÜM

Fiziği Kurtarmak

Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nde bilim tarihçisi olan David Kaiser, bir gün sınıfa misafir konuşmacı olarak geldi. Kaiser'in *Hippiler Fiziği Nasıl Kurtardı: Bilim, Karşı Kültür ve Kuantum Uyanışı* isimli kitabı henüz yayınlanmıştı ve bazı bölümlerini ödev olarak vermiştik. Kaiser, konuşmasını yapmak için Cambridge'den kalkıp Stony Brook Üniversitesi'ne sınıfa gelememişti ancak iki küçük çocuğunun karnını doyurup yatırdıktan sonra evinden Skype üzerinden bir soru-cevap seansına katılmayı kabul etmişti. Kitabını bir saat çalışıp sorular hazırladıktan sonra öğrenciler, sınıftaki bilgisayardan Kaiser'i aradı.

Kaiser'in yüzü odanın ön tarafında bulunan projeksiyon ekranında aniden belirdi. Çalışma odasındaki masasında oturuyordu. Yan tarafında bir yığın kitap ve dosya vardı. Arka tarafta ise üzerinde birkaç beyaz yastığın olduğu sarı bir kanepe bulunuyordu. İlgi çekici genç bir profesör olan Kaiser her zaman başarılı bir konuşmacıdır. Sempatik bir sese ve neşeli bir konuşma tarzına sahiptir. Konuşma esnasında her zaman hareket eder, başını sallayarak onay verir, gözlüklerini düzeltir ve vurgulamak için el hareketleri ile konuşur. Bilim tarihinin çalışılabilecek en güzel alan olduğunu size düşündüren büyüleyici bir anlatıma sahiptir. Kısaca kitabından söz etti ve 1970'lerde kuantum mekaniğinin sonuçları ile doğu mistisizmi ve New Age düşünceleri arasında bir bağ kurma çabalarının çıkış noktasını anlattı ve ardından soruları cevaplayabileceğini söyledi.

Sorularını sormak için öğrenciler koltuklarından ayrılıp kenarda bulunan sınıf bilgisayarının önüne oturmak zorundaydı. Böylece Kaiser, bilgisaya-



David Kaiser (Donna Coveney'in izniyle).

rın karşısına oturmuş öğrenci haricinde diğer öğrencileri ve sınıfı göremiyordu. Soru sormak için kalkan ilk öğrenci Kaiser'e, Dördüncü Bölüm'de gördüğümüz üzere 1920'lerin Almanya'sındaki kültürel endişelerin, kuantum mekaniğinin kurucularının rastgeleliği kuantum teorisinin merkezine koymasındaki temel nedeni teşkil ettiğini savunan bilim tarihçisi Paul Forman'ın yaklaşımı ile kendi yaklaşımı arasındaki ilişkiyi sordu. İfade özgürlüğü hareketi (Vietnam savaşı karşıtı protestolar) ile 1960 ve 1970'lerin öğrenci isyanları ve kuantum mekaniği ile Doğu mistisizmi ve New Age felsefesi arasındaki ilişkileri araştırmak suretiyle Kaiser de aynı yaklaşımı mı takip ediyordu?

Kaiser gülümseyerek cevap verdi. "Sorunuz için teşekkür ederim!" dedi. "Yaptığım araştırmalar, belli bazı temaların ve araştırma konularının ana akım fizik dünyasına neden ve nasıl giriş-çıkış yaptığı ile ilgilidir. Ve 1970'leri özellikle ilgi çekici buluyorum çünkü bu dönem büyük değişimlerin yaşandığı bir dönemdir." Bunu söylerken başını sallıyordu. "İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra fizik derslerine katılımda büyük bir artış oldu. Fizik bilimi için ayrılan para ve kaynaklar çoktu ve 1960'ların sonuna kadar da giderken artan bir hızla akmaya devam etti. Bu, Vietnam savaşı karşıtı protestoların yaşandığı dönemdi. Fiziğin, savunma araştırmalarına dahil olduğundan şüphelenilmesi ve uygulamalı bilimlere kayma yaşanmasıyla beraber fizik bölümlerine kayıt olanlar azaldı ve fiziğe yönelen kaynaklarda büyük bir düşüş yaşandı. Bu denli hızlı bir değişimin yaşandığı bir dönemde ne olur? Doktora öğrencisiyken Forman'ın çalışmasını okudum..."

Ekranda aniden, geri planda Kaiser'in omzunun arkasında kanepenin üzerinde bulunan yastığın altından kahverengi küçük bir pati göründü. Bu görüntüyü sınıftaki herkes görebiliyordu ancak Kaiser'in kendisi göremiyordu. Kimse tek kelime etmedi. Ancak ekrana bakan bizler için dikkatimizin ön plandaki Kaiser ve arka planda görünen pati arasında gidip gelmesine engel olmak imkânsızdı.

> ... ve Forman'ın bu çalışmasını hem ilham verici hem de kafa karıştırıcı buldum. Forman'ın çalışması fikirler ile kurumlar arasında bağ kurmaya çalışan hırslı bir çabadır...

Nihayetinde birincisinin yanında ve paralelinde ikinci bir pati belirdi. Kaiser duyamasa da hafif kıkırdamalar sınıfta dolanmaya başladı. Altmış saniye geçmişti ve Kaiser konuşmaya devam ediyordu. Yastığın arkasından kanepenin üzerine birden bir kedi zıpladı (anlaşılan kedi orada uyuyordu), silkelendi, bir süreliğine Kaiser'e baktı ve ardından odayı inceledi. Sınıftakilerin çoğu gülümsemeye başladı.

> ... fakat Forman bu ikisini bağdaştırmak için gerçek bir mekanizma ortaya koymaz. Forman'ın modelinde, bilim insanlarının çoğunlukla törenlerde yaptığı konuşmaların haricinde, fikirlerin ve kurumların buluştuğu ve bir çekiş gücünün meydana geldiği bir mekanizma yoktur. Forman'ın yaklaşımındaki etken havada kalıyor, bir atmosfer gibi...

Kedi bu defa kendi kuyruğunu keşfetti ve kanepenin üzerinde minyatür bir girdap gibi onu döne döne amansızca kovalamaya başladı. Sınıf artık gülmekten kükrüyordu. Öğrenciler histerik bir şekilde birbirlerine bakıyordu. Bazıları gülmekten yumruğunu sıraya vuruyordu. Kaiser halen ne arkasındaki kediyi görebiliyor veya duyabiliyordu ne de sınıfta kopan gurultuyu duyabiliyordu.

> ... ancak öbür yandan ben, o dönemin kurumlarının özel yapısına bakarak söz konusu mekanizmayı bulmak istiyordum. İnsanların nasıl eğitim aldığına, neler okuduklarına, nerede oturduklarına, kimlerle konuştuklarına bakmak istiyordum. Tabiri yerindeyse girdikleri salonları bulmak ve kimin kiminle takıldığını ve kimin neye ne kadar ödediğini incelemek istiyordum. Bu sayede belli fikirleri belli yerler ve kurumlar ile bağdaştırabileceğimi düşündüm. Sorunuza cevap oldu mu?

Evet oldu! Bir sonraki öğrenci Kaiser'e kedisine nasıl davrandığını sorarak o sırada neler olup bittiğine dair bir ipucu verdi. Kaiser arkasını döndü; kendisine bakıldığını gören kedi kanepeden zıpladı ve ekran görüntüsünden kayboldu. Eğlenceli bir gülüşle Kaiser, "İsmi Quizzie!" dedi. "Inquisitive kelimesinin kısaltılmışı."

KUANTUM MİSTİSİZMİ

Hippiler Fiziği Nasıl Kurtardı kitabı, Temel Fysiks Grubu diye anılan Kaliforniyalı eksantrikler hakkında yazılmış bir koleksiyondu. Bu grup, 1970'lerde kuantum mekaniğinin, benzeri sadece Doğu dinlerinde karşılaşılabilecek derin mistik gerçeklere işaret ediyor olabileceği ihtimalini inceledi ve böylece kuantum mistisizmi diye adlandırılabilecek bir çeşit New Age hareketinin doğmasına neden oldu. Eğer Forman'ın çalışması kuantum döneminin gerçek anlamda bir döneme karşılık gelemediği fakat Batı tarihindeki özel bir dönemin kültürel bir yan ürünü olduğu olasılığını ortaya koyuyorsa, kuantum mistisizmi de bahsini ettiğimiz şeyin aslında Doğu Kültürü Dönemi olarak adlandırılması gerektiğini iddia eder.

Kitabın başlığı biraz küstahçadır. Çünkü kitaptaki hikâye bilim insanlarına ve felsefecilere ders veren küstahça bir hikâyedir. Önce gerisine bir göz atalım. Yedinci ve Sekizinci Bölüm'de gördüğümüz gibi 1925-27'de kuantum mekaniğinin icadı, aynı zamanda özgün felsefi bir krizi tetikleyen çok çarpıcı bilimsel bir başarıydı. Bu teori zaman ve mekân, nedensellik ve gerçeklik hakkındaki temel inanışları alt üst etti. Bilim hakkında var olan pek çok temel kültürel ve felsefi kabullerin hatalı olduğunu gösterdi. Bridgman'ın 1929'da *Harper's* dergisinde yazdığı gibi, dünyanın dibi koptu. Önde gelen fizikçilerin çoğu kopan bu dibi tamir etmeye çalıştı. Yazışmalarla, makalelerle ve kitaplarla kuantum mekaniğinin manasını anlamak için mücadele etti. Ortak bir noktaya varılamadı. Bohr tamamlayıcılık düşüncesini öne sürerken başkaları gerçekliğin istatistiksel anlayışına müracaat etti. Schrödinger, kuantum mekaniğini klasik bir teoriye dönüştürmeye çalışırken kelimenin tam manasıyla etrafa dalgalar yaydı. Einstein ise tamamen isyan etti ve umutlarını Newton döneminin tamamen yeniden inşa edilmesine bağladı. Ancak hiç kimse kuantum mekaniğinin felsefi sonuçları olan büyük sorular ortaya attığı gerçeğini ifade etmekten kaçınmadı.

Kaiser'in hikâyesi burada başlar. Kitabının başında belirttiği gibi, hem Avrupa hem de Amerika'daki inatçı bilim insanları, öğrencilerinin kuantum mekaniğinin tuhaf epistemolojik yönlerini anladığı ve kendi felsefi cevaplarını geliştirdiği konusunda ısrar ettiler. Kaiser, "1930'larda bir fizikçi için kuantum mekaniği hakkında felsefi bir duruşa sahip olmak eğitimli olmanın bir parçasıydı" dedi.

Ancak savaş her şeyi değiştirdi. Kaiser, "İkinci Dünya Savaşı Amerikan fiziğinden felsefeyi sildi" dedi. "Amerikan karakterinden değil fakat Amerikan fiziğinden sildi. Atom bombası geliştirmek için yapılan Manhattan

projesinin oluşturduğu büyük baskı, bu büyük projenin hayata geçirilmesi ve sonrasında gelen büyük projelerin hayata geçirilmesi, felsefeyi bir kenara itilmek zorunda bıraktı. Okullarda, sınıflarda dahi geride bırakıldı. Fizik dersleri bir zamanlar sadece seminer ebadındaydı. Ancak şimdi büyük konferans amfilerinde kat kat fazla öğrencilere veriliyor ve müfredatlar problem çözmeye odaklanıyor. Konferans koşullarında, seminer koşullarına kıyasla daha farklı şekilde ders anlatmanız gerekiyor. Nihayetinde fizikçiler başlarını öne eğip, felsefi yaklaşımları görmezden gelip, denklemlerden olabildiğince hızlı şekilde sayılar çıkarmaya alıştılar."

Fizik kariyeri yapanların yaşamları, Soğuk Savaş döneminde ulusal laboratuvarlarda ve endüstride giderek artan sayıda işler için görev almaları ile beraber daha farklı bir şekil aldı. Artan öğrenci sayısı, standart sınavlarda ve kitaplarda yer alan problemlere ve hesaplamalara odaklanmak suretiyle fizik derslerini de değiştirmeye devam etti. Kaiser bu metoda "yüksek çıktılı pedagoji" ismini verdi. Fizik, bir görev aşkından ziyade bir meslek türüne dönüştü ve fiziği pratik edenler, bilim insanından ziyade görev insanı olarak yetiştirildi.

Bu durumda kuantum mekaniği nasıl yorumlanmalıdır sorusuna artık nasıl cevap verilsin? Cevap, 1955'te Heisenberg'in Kopenhag Yorumu olarak isimlendirdiği şeydi. Notre Dame Üniversitesi'nden bilim tarihçisi Don Howard'ın yakın zamandaki bir makalesi, bu terimin kökeninin savaş sonrası döneme kadar izini sürdü.[1] Howard, "Basitçe söylemek gerekirse, Kopenhag Yorumu düşüncesi Heisenberg tarafından icat edilmiş savaş sonrası döneme ait bir efsanedir" diye yazar. Savaş öncesi dönemde Heisenberg, kuantum mekaniğinin kurucularından biri olarak saygı görmüş ve bu teorinin nükleer fiziğe uygulanmasında önemli rol oynamıştır. Ancak Howard'ın ifade ettiği gibi 1920'lerde Bohr'un favori ismi olan Heisenberg, Almanların atom bombası projesinin liderliğini aldıktan sonra Eylül 1941'de Kopenhag'a yaptığı ziyaret sırasında Bohr ile olan ilişkisinde yaşadığı kopmanın ardından savaş sonrası dönemde Kopenhag Yorumu'nu savunan merkezi gruptan sürgün edilmiş bir kişi haline geldi. Savaş sona erdikten yaklaşık on yıl sonra Heisenberg, 1920'ler ve 1930'lardaki felsefi tartışmaları, kendi ile Bohr ve diğer meslektaşları arasında var olan farkları öne çıkaracak ve kendini aydınlatıcı kişi olarak portre edecek şekilde yeniden dile getirerek savaş öncesi sahip olduğu imajın bir kısmını yeniden inşa etmeye çalıştı. Howard, "Bir zamanla-

1 Howard, "Who Invented the 'Copenhagen Interpretation'?"

rın gururlu ve hırslı Heisenberg'i için, Kopenhag ailesindeki üyeliğini yeniden kazanmak noktasında kendini Kopenhag Yorumu'nun sesi yapmanın dışında daha iyi bir yolu var mıydı?" diye yazar.

Bohr'un onuruna 1955'te yayınlanan makaleler cildi bunun için bir fırsattı. Heisenberg'in bu yayına katkısı, kendisine, Bohr'a ve diğerlerine atfettiği bir yorumdu. Heisenberg "Kopenhag'da 1927'de doğmuş olan şey, sadece deneylerin yorumlanmasını sağlayan bir reçete değil fakat aynı zamanda atomlar ölçeğinde doğadan söz etmek için kullandığımız ve felsefenin de bir parçası olmuş bir dildir" diye yazdı.[2]

Howard, "bu efsane icat edildikten ve isimlendirildikten sonra diğerleri onu kendi ajandalarını geliştirmek için kullanmaya başladı" der. Kopenhag Yorumu, ya sözde ortodoks bir konumda olmayı ifade etmek için uygun bir isim olarak kullanılıyor ve itiraz edilemez olarak kabul ediliyordu ya da başına buyruk olanlar için karşı çıktıkları pozisyona verdikleri isim olarak kullanılıyordu. Bu başına buyruk kişilerin içinde gizli değişkenler düşüncesini savunan David Bohm, metodik bir anarşist olan Paul Feyerabend ve kuantum mekaniğinin sözde öznelciliğine karşı nesnelciliği savunan Karl Popper yer alıyordu. Bunların yanı sıra Howard, mükemmel nesnelciliğin dışında her şeye karşı çıkan diyalektik materyalizmi (resmi Sovyet bilimsel görüşü Kopenhag Yorumu'na karşıydı) savunan geleneksel Marksistleri de anabilirdi.

Kopenhag Yorumu fizikçilerin arasında, kuantum mekaniğini açıklayabilecek ve fizikçilerin incelemesine gerek olmayan herhangi bir felsefi görüş için kullanılabilecek bir isim olarak görüldü. Büyük sorular sormak, handikaplara neden olan gereksiz bir şey olarak görüldü ve baskılandı. Kaiser'in yazdığı gibi, kuantum mekaniğinin temelinde var olan tuhaflıklar konunun dışına itildi. Yoruma dair sorulara verilebilecek en uygun cevap "kapa çeneni ve hesapla" oldu. Bu düşüncenin "kabullen" ve "başa çıkmasını öğren" gibi başka şekilde ifade edildiğini de duyduk.

Bu kestirme cevaplar ile kurtulmanın mümkün olmadığını bir felsefeci iyi bilir. Felsefi meseleler, onlara doğrudan cevap bulamıyorsanız kendi kendilerine yok olmazlar. Dönüp dolaşıp geri gelir ve arkadan sizi ısırırlar.

1975'in ortalarında fizik balonu patladıktan sonra ödenekler azaldı ve iş imkânları yok oldu. Kariyerlerine taş konmuş küçük bir grup Kaliforniyalı fizikçi, kuantum fiziğinde büyük sorular sormayın sadece çarkları çevirin anlayışına karşı baş kaldırdı ve Berkeley'de Fundamental Fysiks Grubu'nu kur-

2 Howard, "Who Invented the 'Copenhagen Interpretation'?", s. 676.

du. Kaiser'in belirttiği üzere bu gruptakilerin amacı, onları fizik bilimine çekmiş ve kuantum fiziğinin kurucularına motivasyon vermiş olan eski heyecan, merak ve gizem anlayışını geri getirmekti.

Kuantum mekaniğinin ortaya koyduğu ve atom altı dünyaya ait olan tuhaflıklar tablosunun, aşina olduğumuz günlük dünya ile tatmin edici bir şekilde bağdaştırılamayacağını vurguladılar. Olan biteni açıklayacak uygun kelimeler ve kavramlar mevcut değildi. Fysiks Grubu kuantum mekaniğindeki kavramlar ile mistiklere ait kavramlar arasında bağlantılar kurmaya başladı. Gruptakilerin haklı olduğunu düşündüklerinden değil, fakat kuantum mekaniğinin anlamı hakkında o dönem var olan tek müzakere ortamını sunduğundan dolayı çok sayıda fizikçi bu tartışmaya dahil oldu.

Grubun üyelerinden biri, Brooklyn doğumlu teorik fizikçi Jack Sarfatti idi. Doktorasını 1969'da California Üniversitesi Riverside'dan almış olan Sarfatti bir süre öğretim üyeliği yapmış ancak sonrasında akademi dünyasından ayrılmıştı. Bir diğer üye doktorasını 1963'te California Üniversitesi Los Angeles'tan almış olan Fred Alan Wolf idi. Sarfatti ve Wolf klasik mekanik ile kuantum mekaniği arasındaki farkları açıklamak için yaratıcı düşünceler uydurmayı seviyordu. Bu düşüncelerden biri Beatles'ın "Begin for the Benefit of Mr. Kite!" isimli parçasını içeren yaratıcı bir yorumdu. Bu yorumda Mr. K (Dünyaya meydan okuyan kişi) Boltzmann'ın sabitini (k ile gösterilen enrtopiyle alakalı sabit) temsil ederken Mr. H ise Planck sabitine (h ile gösterilen) karşılık geliyordu.[3]

Doktorasını 1969'da Columbia Üniversitesi'nden almış olan teorik fizikçi John Clauser da, Lawrence Berkeley Laboratuvarı'na geldikten birkaç yıl sonra gruba katıldı. Clauser grubun diğer üyelerini "bir grup çılgın" olarak görüyordu ancak yine de onlara ilgi duymuştu. Çünkü bu grup, fizikçilerin kuantum yerelsizliği konusundaki gelişmeleri tartışılabildiği tek ortamdı.[4] Grubun bir başka üyesi, doktorasını 1966'da Viyana Üniversitesi'nden almış olan fizikçi Fritjof Capra idi. Capra 1960'larda Kaliforniya'da değişik yerlerde fizik araştırmaları yaparken, aynı dönem yine Kaliforniya'da yaşamakta olan Doğu felsefesini Batılı dinleyicilere tercüme eden en önde gelen isim olan Alan Watts'ın radyo seminerlerini duydu. Kaiser sınıfa "kültürel çarklar ifadesinden kastettiğim budur" dedi. "Bu hareket neden söz konusu yerde ve söz konusu zamanda ortaya çıktı? Çünkü önde gelen fizik laboratuvarlarının

3 Jack Sarfatti ve Fred Alan Wolf, kişisel görüşme, 17 Mart 2013.

4 David Kaiser, *How the Hippies Saved Physics: Science, Counterculture, and the Quantum Revival*, Norton, New York, 2011, s. 119.

yanı sıra Doğu felsefesini tanıtan organlar da bu hareketin kurumları arasında yer alıyordu." Capra, Fysiks Grubu'na 1975'te Lawrence Berkeley Laboratuvarı'na geldikten sonra katıldı.

Bu grup, Jack Rosenberg olarak dünyaya gelmiş olan ancak sonrasında adını Werner Erhard (ismini Werner Heisenberg'den aldı) olarak değiştirmiş olan, kendini yetiştirmiş bir guru tarafından kuruldu. Erhard, New Age hareketinin başlarında ortaya çıkmış en başarılı kişisel gelişim inisiyatifi olan ve kısaca EST olarak bilinen Erhard Seminer Eğitimleri sayesinde zengin ve ünlü olmuştu. Erhard ve EST'nin yanı sıra grup, Big Sur Kaliforniya'da bulunan, muhteşem manzarası, güzel yemekleri, sauna ve masajlarıyla ünlü Esalen Enstitüsü kurucularından olan Michael Murphy'den de destek gördü. Esalen toplantılarının büyük çoğunluğu New Age kitlesine hitap etse de Avrupa'dan bazı fizikçileri de çekmeyi başarmıştı. Bu fizikçiler, tıpkı Fysiks Grubu'nun üyeleri gibi, meslektaşlarının kuantum teorisindeki temel konuları görmezden geliyor olmasından dolayı hayal kırıklığına uğramış kişilerdi. Bunların arasında, Kaiser'in kitabında Esalen'e yaptıkları ziyaretlerden bahsettiği Bernard d'Espagnat ve H. Dieter Zeh gibi bilim insanları da vardı. Aynı süre içinde Erhard önde gelen fizikçilerle irtibata geçti ve San Francisco'daki malikânesinde gerçekleştirilmek üzere ciddi fizik toplantılarına sponsor olmayı önerdi. Harvard fizikçilerinden Sidney Coleman bu teklife destek verdi ve kuantum mekaniği hakkında Erhard'ın sponsor olduğu ve kendisine ait malikânede 1970'lerin sonlarında gerçekleştirilen çok sayıda konferansı organize etti. Bu kitabın yazarlarından biri (Goldhaber) söz konusu toplantılardan birine katıldı ve kendini yetiştirmiş bu guru ile birkaç dakikalığına sohbet etme şansını yakaladı. Coleman, Doğu felsefesi ile kuantum mekaniğini bağdaştırma modasını "saçmalığın altın çağı" olarak nitelemek suretiyle reddetmişti. Bu nedenle Erhard, sadece ciddi fiziğin konuşulması konusunda özellikle ısrar etmişti. En azından bu konferans esnasında saçmalıklar söz konusu olmadı.

Kuantum mistisizmi hareketi, Fundamental Fysiks Grubunun 1970'lerin sonlarında dağılmasının ardından da büyümeye devam etti. Buradaki önemli bir gelişme, ilk başta yirmi beş yayıncı tarafından reddedilen ancak sonrasında milyonlar satan Capra'nın *Fiziğin Tao'su* isimli kitabının 1975'te yayınlanmasıydı. Kitapta Capra, kuantum fiziği ile Zen Budizm'i arasındaki bağıntının kritik öneme sahip olduğunu yazdı. Bu bağıntı, günümüz dünya görüşünün yetersizliğini göstermekte ve kültürel devrim olarak nitelenebilecek derecede büyük bir değişimin gereğine işaret etmektedir: "İnsan medeniyetinin devamı bu şekilde bir değişimi gerçekleştirmemize

bağlı olabilir."[5] Capra'nın kitabı sınıflara kadar geldi ve bilim bölümlerinde olmayan öğrencilerin de fizik dersi alması için cazibe oluşturdu.[6] Bilimci olmayan Gary Zukav, felsefi anlamda kuantum mekaniğinin sonuçlarının sanrı yaratan sonuçlar olduğunu iddia eden *Dans Eden Wu Li Efendileri* kitabını yazdı ve bu kitap Amerikan Kitap Ödülü'nü kazandı.[7] Kuantum mistisizmini benimseyen diğer yazarlar arasında Alex Comfort ve eseri *Gerçeklik ve Empati: Fizik, Akıl ve 21. Yüzyılda Bilim* isimli eseri görüyoruz.[8] Kuantum mistisizmi filmlerde de karşımıza çıkar; *Bull Durham/Boğa Takımı* filminde bir beysbol takımının peşine takılan ve Susan Sarandon tarafından canlandırılan kız bir kuantum mistiğidir. Kuantum mistisizmi hakkında en önde gelen örneklerden biri ise *What the #$*! Do We (K)now!?/Ne @#!* Biliyoruz Ki!?* (2004) filmidir. Bu film, kuantum teorisi ile ilgili pek çok değişik konudaki meyvelüperlerini ele alır.

Fundamental Fysiks Grubu'nun, kuantum fiziğini bilinç ile birleştirmek gibi üzerinde durduğu pek çok tuhaf konu başarıya erişemedi. Bilim insanlarının deyimiyle beyin sıcak ve nemlidir ve bu nedenle bütün kuantum etkilerine dair olanakları bertaraf eder. Kaiser'in ifade ettiği gibi, buna rağmen Fysiks Grubu'nun karşıt kültür aktiviteleri ana akım bilim dünyası üzerinde etkiler meydana getirdi ve bu sayede teorinin en tuhaf yönleri ile ilgili gelişmelerin olmasına ve bazı tuhaf deneysel öngörülerin test edilmesine motivasyon sağladı. Buna bir örnek, kuantum teorisini kullanarak ışıktan daha hızlı bir iletişimin mümkün olmadığına dair Einstein'ın teorisinin yanlış olduğunu gösterecek bir deney geliştirilebileceği düşüncesiydi. Kaiser'in belirttiği gibi bu çabalar başarıya ulaşamadı ancak herhangi bir kuantum durumunun kopyasının üretilemeyeceğini ispat eden Klonlanamazlar Teoremi'nin geliştirilmesi gibi olumlu bir gelişmeyi de beraberinde getirdi. Bu teorem, kuantum kartografisinde anahtar bir konu haline geldi. Fundamental Fysiks Grubu, Bell'in teoremini bilinmezlikten kurtarmak için de çok çabaladı ve bu çabalar sayesinde günümüzde kuantum enformasyon bilimi olarak yeşerecek olan tohumları attı. Bell'in teoreminden o dönemler çok fazla okunmayan bir fizik ders kitabında kısaca bahsedilmişti.[9] Clauser, Bell 'in teoremini grubun

5 Fritjof Capra, *The Tao of Physics: An Explanation of the Parallels Between Modern Physics and Eastern Mysticism*, Shambhala Publications, Berkeley, 1976, s. 298.

6 D. Harrison, "What You See Is What You Get!", *American journal of Physics* 47, 1979, s. 576-82; "Teaching the Tao of Physics", *American Journal of Physics* 47, 1979, s. 779-83.

7 Zukav, *The Dancing Wu Li Masters*.

8 Buffalo: State University of New York Press, 1984.

9 Bell'in teoreminden kısaca söz eden ders kitabı: Kurt Gottfried, *Quantum Mechanics: Funda-*

1975'te ortaya çıkmasından önce 1972'de ilk defa deneysel olarak test etmişti. Kendisi grubun kurucu üyelerinden biriydi ve toplantılar başlamadan önce de üyelerle sürekli temas halindeydi. Yaşamı boyunca da grubun toplantılarının anahtar katılımcısı olarak kaldı.

Kaiser'in esas bahsini ettiği büyük önemli konu, kuantum teorisinin nasıl yorumlanabileceği meselesinin zor sorular halinde nasıl yeniden su yüzüne çıktığıdır. O dönemlerin Doğu felsefesi, parapsikoloji araştırmaları ve yeni algılar ile yüklenmiş ve uyuşturucu, seks ve partiler ile zenginleştirilmiş California kültürü atmosferinde bu aykırı kişilerden (hippiler olarak isimlendirilen) oluşan grup, büyük soruların sorulduğu ve ana akımın dışında kalan bir alan oluşturdular. Bunu yaptıkları atmosfer, Doğu mistisizmi ve kuantum mekaniği arasında günümüzde halen fizikçileri korkutan bir bağ kurmayı teşvik etmiştir.

Pek çok fizikçi ve felsefeci, en az karşı çıktıkları şey kadar tuhaf açıklamalar ile kuantum mistisizmine karşı çıkmaya çalışmıştır.[10] Bu durumda neyin meyvelüperi olduğunu ve neyin olmadığını nasıl ayıklayabiliriz? Bu sorunun cevabı, Kaiser'in verdiği ipuçlarını takip ederek bir kullanım analizi yapmayı gerekli kılar.

Kuantum mistisizmi, kuantum mekaniğin bizleri geleneksel nesnellik anlayışını reddetmeye zorladığının fark edilmesi ile ortaya çıkmıştır. Kuantum mistisizmi popüler kültürde sıkça görüldüğü gibi, sırları yasal hale getiriyor ve idrak edilemezliği övüyor gibi görünür. Portekizli roman yazarı Paulo Coelho'nun kaleme aldığı *Brida* isimli romanı örnek verebiliriz. Romana ismini veren kahraman, korkularını aşarak ancak halen dehşet içinde olarak erkek arkadaşı Lorens'e, karanlık gece diye isimlendirdiği ve idrak edilemezliğe inancı gerektiren yaşadığı mistik ve büyülü bir deneyimini anlatır. Erkek arkadaşı sakince bir kâğıdın üzerine iki delik açar ve ardından mutfaktan bir tıpa alır. "Farz edelim ki bu tıpa, atomların yapısında bulunan en küçük parçacıklardan biri olan elektron olsun. Anladın mı?" der.

Brida başını sallar. Lorens "Peki, şimdi dikkatli dinle" der. "Eğer elimde bu kâğıt parçasına doğru bir elektron ateşlememi sağlayacak son derece gelişmiş cihazlar olsaydı elektron bu iki deliğin içinden aynı anda geçerdi. An-

mentals (W. A. Benjamin, 1966). Bell'in teoremine ilgi gösteren Kaiser'in bulabildiği ilk ders kitabı Sakurai'nin 1985'teki *Modern Quantum Mechanics* isimli kitabıdır. Bell'in teoremi, Fundamental Fysiks Grubunun etkisini gosterdiği döneme kadar ana akım fizik ders kitaplarında yer almamıştır.

10 Ornek için bkz. Martin Gardner, "Quantum Theory and Quack Theory", *New York Review of Books* 26, 17 Mayıs 1979; "Magic and Paraphysics", *Technology Review* 78, Haziran 1976, s. 42-66.

cak elektron bunu iki parçaya ayrılmadan yapardı." Brida'nın erkek arkadaşı tabii ki Sekizinci Bölüm'de incelediğimiz çift yarık deneyine atıfta bulunmaktadır. Brida, bu imkânsız olduğu için inanmadığını söyler. Lorens bunun gerçek olduğuna Brida'yı temin eder. Brida "bilim insanları bu gibi gizemlerle karşılaştıklarında ne yapıyor?" diye sorar. Lorens şöyle cevap verir:

> Senin ifadenle karanlık geceye adım atarlar. Biliyoruz bu gizem hiçbir zaman kendiliğinden yok olmayacak. Bu nedenle onu kabul etmeyi ve onu sevmeyi öğreniriz. Sanırım hayatta pek çok mesele için de aynısı oluyor. Çocuğunu dünyaya getiren bir anne de karanlık geceye doğru düştüğünü hissediyor olmalı. Ya da yurdundan çok uzaklara para ve iş aramak için yolculuk eden bir göçmen. Bir gün çabalarının mükâfat bulacağına ve o süreçte çok ürkütücü görünmüş olan yol boyunca olanların anlamının ne olduğunu öğreneceklerine inanırlar. Bizi ileri yürüten şey açıklamalar değil, devam etmeye olan arzumuzdur.[11]

Geri planda büyücülüğün sözde bilim yönünü bir kenara koyacak olursak, Lorens'in demeye çalıştığı şey, bilim insanları karanlık geceyi kabul edebiliyorsa bizim de edebileceğimizdir. Bu şekilde kuantum mekaniği, Stony Brook'daki doktora öğrencilerinden birinin de söylediği gibi, bilimin aydınlatıcılığı ile nihai gizemin romantik ısrarı arasında ilginç bir kesişimi ihtiva eder.[12]

NEYİN YAYGARASI?

Bu noktada bir felsefeci bütün bunlar neyin yaygarasıydı diye merak edebilir. Kuantum mekaniğinin getirdiği yeni epistemoloji gerçekten bir Doğu epistemolojisi midir, yoksa Batı kültürü mantık dışılığa ve mistisizme müracaat etmeden olup biteni izah edebilecek araçlara sahip midir? Kesinlikle sahiptir diyebiliriz. Kuantum mekaniği, sadece 19. yüzyıl Newton bilimine dayalı nesnelliği baltalar. 20. yüzyılda kuantum mekaniğinin ortaya çıktığı zamanlarda kuantum mekaniğini tarif etmeye uygun bir nesnellik anlayışı da ortaya çıkmaya başladı. Nesnellik terimi bir çeşit ideal bilgiye atıfta bulunur. Bu bilgi genellikle dışarıdan bakma düşüncesi ile karakterize edilir. Bir gözlemci bu bakışı, gözlenmekte olan şeyden tamamen ayrı ve onunla bağlantı içinde olmadan kaldığı bir duruşla sağlayabilir. Bilim tarihçileri Lorraine Daston ve Peter Galison'un *Nesnellik* isimli kitapta gösterdikleri gibi bu ideal duruma nasıl yaklaşılabileceğine dair bilim insanlarının fikirleri zaman içinde hem

11 Paulo Coehlo, *Brida: A Novel*, Harper Collins, New York, 2008, s. 73-74.

12 George Clinton'a bu değerlendirme için teşekkür ederiz.

mana hem de sembolizm noktasında gelişmiştir. Ancak bu ideal, bilimin çabalarını Newton Dönemi'ne doğru yönlendirmiştir. Bohr, tamamlayıcılık ilkesini tanıttığı Como konuşması sırasında bu çabalara belli konularda karşı çıkmıştır. Bohr, kuantum olayları ile araçlar (bu kuantum olaylarını gözlerken kullandığımız cihazların durumu) arasında keskin bir ayrımın mümkün olmadığını söyledi.

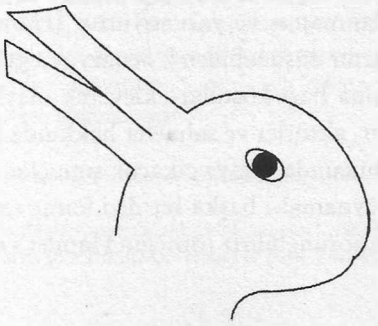
Bohr basitçe inatçı bir deneyciydi. Genel veya bilimsel arenada olsun her bilgi arayan kişi belli bir mekâna bağlı olarak belli gözlem araçları kullanır ve cevaplarını aradığı belli sorulardan yola çıkar. Gözlem için kullandığımız araçlar (bunlar ister sıradan algılarımız olsun ister algılarımızı genişletecek cihazlar olsun) içinde bulundukları dünyanın ayrılmaz bir parçasıdır. Bu araçlar, başka şekilde deneyimleyemeyeceğimiz nesneleri deneyimlememize olanak sağlar ve onları yapılandırmamıza yardımcı olur. Bu nesneler hakkında, onlara yönelik bilgi toplama sürecinden bahsetmeden tam bir bilgi veremezsiniz. Ancak dünya, insanlardan bağımsız şekilde halen deneyimlenebiliyor görünür. Dünyaya istediğimizi yaptıramayız. Bize direnir. Hiç ummadığımız şekilde davranabilir.

Yeni nesnellik düşüncesi 20. yüzyılın başlarında, fenomenoloji olarak bilinen yeni bir felsefi hareketin kurucusu Alman filozof Edmund Husserl tarafından ortaya atıldı (Gerçi Hegel de yaklaşık yüzyıl önceki yazılarında bu düşüncenin bazı yönlerinden söz etmişti). Fenomenolojinin çıkış noktası, her araştırmanın (felsefi veya bilimsel) farz etmek ve çıkarımda bulunmaktan ziyade gözlemek ve keşfetmekle alakalı bir sorgulama olduğunu söyler. Gözlem ve keşfetme sürecinde bir nesneye dışarıdan bakmak yerine nesnenin gözlemciye kendini gösteriyor olması esastır. Bunun yanı sıra nesnenin kendini nasıl gösteriyor olduğu, Sekizinci Bölüm'ün ara faslında gördüğümüz üzere, ona nasıl bakıldığı ile de alakalıdır. Bir nesneyi algılama eylemi, o nesnenin başka şekillerde deneyimlendiği başka eylemlere yönelik beklentileri de ihtiva eder. Dünyaya dair deneyimlerimize derinliğini ve yoğunluğunu veren budur. Bir şeyi dünyanın içinde bir varlık olarak algılamak, yani nesnel olarak algılamak, onu bütünüyle algılamak değildir. Fakat onun, o an algılanmayan sonsuz başka görünümlere de sahip olduğunu algılamaktır. Belki ilk algımız yanılmış ve beklentilerimiz sadece varsayımlardan ibaret kalmıştır. Ancak bunu da yine gözlem ve keşfetme süreci ile ve diğer görünümleri de inceleme süreci ile bulabiliriz. Bu bakış açısına göre nesnellik, bir nesnenin dışında durmak ve onu bir şekilde dışarıdan algılamak anlamına gelmez. Fakat nesneyi, başka bakış açılarından da nasıl algılanabileceğini bilerek algılayabilmektir. Nesnel

bakış açısı, bir şeyi birinin nasıl göreceği veya dışarıdan onu nasıl algılayacağı demek değildir. Fakat bir şeyi prensip olarak herkesin nasıl algılayacağıdır.

Bilimde bir elektron veya bir gezegen gibi bir nesnelerin algılanması aracı cihazlar ile gerçekleşir. Araştırmacılar örneğin yeni bir parçacığın veya yeni bir asteroitin varlığını iddia ettiklerinde bu önerme, söz konusu nesnenin başka koşullar altında başka şekillerde görüneceği beklentiler ufkunu da içerir. Bu beklentiler geniş anlamda yine sadece gözlem ile doğrulanabilir veya yanlışlanabilir. Bu ufuk, bilimsel nesneler için her zaman daha fazlasının bizi bekliyor olduğu anlamına gelir. Farklı cihazlar ile incelendiğinde olayların farklı şekillerde görünebileceği bilim insanları için aşikârdır. Bu nedenle olaylara dair kavramsal anlayışları, cihazların ara buluculuğunu ve buradan gelen beklentileri içerir. Olaylara dışarıdan bakmamızı sağlayacak bir konum var olmadığı gibi, Google Earth misali mümkün olan her ölçeğe yakınlaşıp bakmamızı sağlayacak bir cihaz da yoktur. Çünkü her şeyden bağımsız mutlak bir konum yoktur ve cihazların aracılığı sayesinde bulunduğumuz konumlar da değişkendir. Bazı olayların sadece özel laboratuvar şartları altında meydana geliyor olduğu gerçeği onların soyut ve dünya dışı olduğu anlamına gelmez. Bunun tersi söz konusudur. Özel laboratuvar koşulları söz konusu olayları dünyanın bir parçası yapan şeydir ve bu yolla onların bizim için önemli olmasını sağlar.

Bu nesnellik anlayışı kuantum mekaniğindeki dalga-parçacık düalitesi ve superpoze durumlar gibi kafa karıştırıcı özellikleri nasıl açıklar? Birincisi, fenomenoloji, masa veya sandalye misali bilindik nesneler gibi olmayan fenomenler ile ilgilenmez. Fenomenolojideki tarif, bir şeyin nasıl olduğu ile ilgili öncelikli bir varsayımda bulunmaz fakat onun nasıl olduğunu tarif etmeyi hedef alır. Günlük deneyimlerimiz, duygular gibi, rüzgârı algılamak veya bir şeye yakın olduğumuz sıradan şeyler gibi davranmayan fenomenlerle doludur. Günlük deneyimlerimiz çoğul, karışık, tamamlanmamış ve yarı soyut örnekler dahi içerebilir. Bunlardan biri, pek çok felsefe ve psikoloji ders kitabında bulabileceğimiz ünlü tavşan-ördek örneğidir. Aşağıda bir versiyonunu gösteriyoruz:



Dalgalanan suyun üstünde zambak yastıklarıyla dolu bir gölet arka planına yerleştirildiğinde bu resim net olarak bir ördektir. Karahindiba çiçekleri ile dolu yeşil bir çayır arka planına yerleştirildiğinde ise bu defa bir tavşandır. Her bir örnekte resmin bir bölümü ya anlam kazanır ya da anlamını kaybeder. Örneğin çayır arka planı ile bakıldığında sağ taraftaki çıkıntı bir ağız iken gölet arka planı ile bakıldığında ise bir girintidir sadece. Her iki koşul için farklı bir durum söz konusudur. O halde bu resim kendi içinde neyin resmidir? Resim arka planda bir çevreden dışarı çıkarıldığında belirsiz (veya bulanık da diyebiliriz) bir gerçekliğe sahiptir. Eğer gerçekte ne olduğunu öğrenme talebinde bulunursanız ya cevap anlamsız ya da cevap belirsizdir. Resmi parçalarına ayırıp sadece her bir parçasına bakarak veya nasıl bir mürekkep ile çizilmiş olduğunu göz önünde bulundurarak onun hakkında daha iyi bir cevaba erişemezsiniz. Resim bir bütündür.

Tavşan-ördek örneği Schrödinger'in kedisi ile örneklenen duruma benzerlik gösterir. Kutu açılmadan önceki kendinin Ψ-fonksiyonu, tıpkı yukarıda resmi geri plandan ayrı tuttuğumuzdaki durum gibi, canlı ve ölü kedi olasılıklarını superpoze eder. Resmi bir ortamın içine sokmak, yani onu gerçek dünyaya getirmek, tıpkı bir gözlem yapmak veya bir ölçüm yapmak gibidir. Resmin, insan algıları için belirsizlik içermeyen bir nesneye dönüşmesi dalga fonksiyonunun çökmesi olayı gibidir. Bu süreçte bir gizem yoktur. Gizem sadece resmin kendisi hakkında "Bu nedir?" şeklinde bir sorgulama yaptığımızda ortaya çıkar ve bu soru, gözlenebilir olan nesneler için elde edebildiğimiz türden cevaplar bekler. Felsefeciler, belli bazı soruların anlamsız olduğunu bilir (Tanrı, kaldıramayacağı kadar ağır bir taş yaratabilir mi? sorusu gibi). Çünkü bu sorular verilemeyecek bir cevap bekler. Bilim, bir öngörme mekanizmasıdır. Eğer bir öngörü yapmak için elde yeterli bilgi yoksa, yapabileceği tek şey elindekiyle orada durmaktır. Schrödinger'in kedisi, bu tür bir durumu örneklemektedir.

Bir başka örneğe daha bakabiliriz. Örneğin bir senaryo taslağı, çok şekilli bir gerçekliğe sahiptir. Birbiri ile uyumlu olmayan olası farklı olayların tanımını içermesi ve benzer pek çok farklı olayları üretebilen bir araç olmasından dolayı tamamlanmamış ve yarı soyuttur (Hamlet'in veya Julius Sezar'ın farklı versiyonlarını düşünebiliriz). Senaryoyu gerçek dünyada bir olaya dönüştürmek için ona bazı koşullar ekleyerek olayları üretmeliyiz. Yani olayın geçtiği konumlar, aktörler ve sahneler hakkında bazı kararlar vermeliyiz. Bir dizi kararın sonucunda ortaya çıkacak sonuçlar (örneğin Hamlet'i çıldırmış bir kişi olarak oynamak) başka bir dizi karar sonucu ortaya çıkacaklardan çok farklı halde görünebiliriz (örneğin Hamlet'i rasyonel ve manipüla-

tör bir kişi olarak oynamak). Bir performansta anahtar öneme sahip diyaloglar başka bir performansta anlamsız olabilir. Ancak bu durum, oyun yapımcılarının ve yönetmenlerinin Hamlet oyununu baştan yarattığı anlamına gelmez. Bir senaryo kendi içinde yarı soyut bir gerçekliğe sahiptir çünkü onunla farklı şekillerde oynamamız için bize hem izin verir hem de bizi kısıtlar. Dolayısıyla spesifik bir performansın sahip olduğu gerçeklik türünden farklı bir gerçekliğe sahiptir.

Schrödinger'in denklemindeki Ψ-fonksiyonu da, insan amacı ve kararlarının işin içine girdiği ölçme olaylarını içerebilen ve farklı koşullara göre farklı şekillerde gerçeklik kazanabilen bir başka yarı soyut nesnedir. Schrödinger'in kedisi örneği klasik bir soruya kuantumsal bir cevap arar. Ψ-fonksiyonu olan bir kedi hayal eder ancak sonrasında kedinin gerçek olup olmadığını sorar. Bu soru, tavşan-ördek örneğindeki resmin tavşan mi yoksa ördek mi olduğunu sormak gibidir.

Ancak biliyoruz ki bu şekilde bir Ψ-fonksiyonu var olamaz. Bir kedi her zaman dünya ile etkileşim içindedir. Kedinin içinde bulunduğu kutu, kediyi gözleyen veya ölçen ve bu şekilde onun varlığı hakkında bilgi veren şeylerle doldur. Örneğin oksijen moleküllerinin karbondioksit moleküllerine oranı kedinin kaç defa soluk aldığını ölçer. Kutu sayılamayacak kadar çok kedi detektörü ile doludur.

Albert Einstein bir zamanlar Abraham Pais'e, Ay'ın sadece ona baktığı zaman var olduğuna inanıp inanmadığını sormuştu.[13] Ancak elbette dünya, gel-git dalgaları, uydular, Ay ışığı, gölgeler ve bunun gibi daha pek çok insan olmayan Ay detektörleri ile doludur. Felsefeci Marshall Spector'un dediği gibi:

> Ay, nesnel fiziksel olayların (fotoğraf filmleri veya gel-git etkisi gibi) hiçbirinin bu devasa, ışık yansıtan ve görece Dünya'ya yakın olan gök cisminin varlık halinde olduğu yönünde yorum yapmamıza müsaade etmeyecek bir durumda dahi halen varlık halinde olabilir mi? Hayır, böyle bir durumda varlık halinde değildir! Bu ne büyük bir şok olurdu gerçekten! Ancak dikkat ederseniz bu iddia, bütün insanların gözlerini Ay'dan çevirmeyi tercih etmesi halinde Ay'ın yok olacağı ve kafamızı kaldırıp tekrar bakmaya karar verdiğimiz anda yeniden yaratılacağı iddiasına kıyasla çok farklıdır. Bilinç, maddeyi yaratmamıştır.[14]

13 Abraham Pais, *Subtle Is the Lord: The Science and the Life of Albert Einstein*, Oxford, New York, 2005, s. 1.

14 Marshall Spector, "Mind, Matter, and Quantum Mechanics", *Philosophy of Science and the Occult* içinde, 2. baskı, P. Grim (der.), State University of New York Press, Albany, 1990, s. 344.

Dünya yoğun bir nedensellik ağı ile örülüdür. Bu ağın içinde yer alan şeylerin varlık halinde olduğunu söyleme hakkımız var. Ancak ağın dışındaki şeyler için aynısı geçerli değildir. Kuantum mekaniğinin en şaşırtıcı yönü ağın dışındaki şeyler hakkında da bazı şeyler söyleyebilmemizi sağlamasıdır. Söz konusu şeyler şu veya bu yolla gerçeklik kazanır ancak bu iki yol arasında bir ilişki vardır. Belli potansiyellerin belli gerçeklik sınırları vardır.

Tavşan-ördek resmi, tavşanlardan veya ördeklerden farklı olarak bir şekle sahip olması ve gerçek olması ile olasılık dalgaları ve diğer kuantum fenomenleri gibidir. Bunun benzeri kuantum olayları için de geçerlidir.[15] Nesnelliğin yeni kavramı, hiç kimse için değil fakat herkes için geçerli olan bir pozisyondur. En azından prensip noktasında, araştırma yapan herkes için anlam taşıyan bir pozisyondur.

15 Brush, *Chimerical Cat*, s. 422: Born: "Şahsen olasılık dalgasının, 3 boyutlu uzayda dahi matematiksel hesaplar için bir araç olmanın kesinlikle ötesinde gerçek bir şey olduğunu düşünüyorum." Weisskopf: "Atomsal fenomenlerin tanımlanması ve yakalanması zor olaylar olması onları daha az gerçek yapmaz."

SONUÇ

Şimdiki Dönem

> Bilim tarihinde kuantum mekaniği kadar insan düşüncesi üzerinde bu denli büyük etkisi olmuş bir teori daha olmamıştır. Çok farklı fenomenlere yönelik öngörülerinde bu denli büyük başarıya erişmiş bir teori de olmamıştır.
>
> – Max Jammer, *Kuantum Mekaniğinin Felsefesi*

Bu kitabı bitirmeden kısa bir sure önce Stony Brook Üniversitesi'nin Beşeri Bilimler Enstitüsü'nde bir konuşma yaptık. Bilimin kültüre bir katkısının olabileceğine inanmadığını ifade eden hoşnutsuz bir katılımcının sorusuyla karşılaştık. Protesto eder şekilde sorduğu şey, kuantum mekaniğinin gerçekten kültüre bir katkısının olup olmadığı idi. Eski meseleler için bizlere cafcaflı yeni metaforlar sunmuştu belki ancak bunları çekip çıkarsak kaybettiğimiz bir şey olur mu? Sanatçılar ve felsefeciler kendilerini ifade edecek başka yollar bulamaz mı? Bilim insanlarının belirsizlik ilkesine ihtiyacı var. Peki ya şairlerin ihtiyacı var mı?

Bu soruya verilebilecek en doğrudan cevap bir düşünce deneyi önermektir. Örneğin Newton döneminin hiçbir zaman bitmemiş olduğunu farz edin. Planck'ın kuantumu ortaya atmasından birkaç yıl sonra bu düşünceyi terk ettiğini ve diğer bilim insanlarının keşfedilenleri kuantum olmadan açıklamayı başarmış olduğunu farz edin. Atomların birbirine küçük yaylar (Birinci Bölüm'de ele aldığımız, esnekliği uygulanan kuvvetle orantılı olan Hooke yasasındaki yaylar) ile bağlı olan küçük madde parçacıklarından oluştuğunu

açıklayan kabul edilebilir ve tatmin edici bir teori geliştirmiş olsalardı (Newton dönemini Newton'un ezeli rakibi olan Hooke'un keşfi ile kurtarmış olmadaki ironiyi seviyoruz). Hooke yasasındaki yayların, Newton'un diğer ilkelerinin ve termodinamik kurallarının, kuantumun sadece matematiksel bir mesele olduğuna dair Planck'ın ilk başlardaki düşüncesini haklı çıkaracak kadar başarılı olduğunu, bu sayede kuantumun bilimden çıkarılmış olduğunu ve sadece tarihçiler tarafından hatırlanan bir konu haline gelmiş olduğunu hayal edelim. Kuantum teorisinin, uzun zaman önce çöpe atılmış olan ve ateşin flogiston adı verilen bir madde tarafından üretildiğini öne süren teori ile aynı kaderi paylaşmış olduğunu düşünelim. Bu senaryoda bilim insanları, mikro dünyanın makro dünyadaki temel kuralların aynısına riayet ettiği sonucuna varmış olsun. Klasik diferansiyel denklemler her fizikçinin temel hesaplama aracı olarak kalmış olurdu.

Bu sayede 20. yüzyılın başlarında fizikçiler, herhangi bir kriz veya bir endişe yaşamış olmazdı. Özellikle ışığın doğası ve aynı türden olan maddelerin temel parçacıklarının neden birbirinin aynısı olduğu gibi çözülmesi gereken sadece birkaç mesele kalmıştır ancak fizikçiler sonunda tatmin edici cevapların ortaya çıkacağını ummaktadır. Fizikçilerin çalışma alanları halen düzenli, öngörülebilir ve bütünlüğünü koruyan bir alandır ve yasaları ve özellikleri bütün ölçeklerde ve bütün alanlarda aynı şekilde geçerlidir. Bilim insanları nihayetinde kendilerini ölçümlerin dışında tutmayı başarabileceklerinden ve bu sayede doğa ve onu meydana getiren parçalar hakkında nesnel bir tanıma erişeceklerinden emindirler. 20. yüzyılın ikinci on yılının başlangıcında Ernest Solvay, fizik konferansları yerine uluslararası iş metotları ve uygulamaları konulu konferanslara sponsor olmak suretiyle ün kazanmıştır.

Birinci kuantum devrimi diye bir şey olmadığı için ikinci kuantum devrimi de olmamıştır ve fizikçiler 1925'ten 1927'ye kadar olan dönemi kozmik ışınların kökeni ve doğası hakkında düşünerek geçirmiştir. Popüler kültür kuantum sıçramalarını, dalga-parçacık düalitesini, belirsizlik ilkesini, tamamlayıcılığı, süperpozisyonu, Schrödinger'in kedisini, uzak mesafelerden işleyen hayalet etkileri ve paralel dünyaları hiç duymamıştır. Çift yarık deneyi ve Bell Teoremi diye bir şey de yoktur. Einstein, nedensellik ilkesini, bu ilkeyi bir anlığına terk etmek gibi bir hayale kapılmış ve bunu yapmaktan dolayı kariyerlerinin geri kalanında meslektaşları tarafından alaya alınmış, zayıf hayal gücüne sahip bir grup dar görüşlü fizikçiye (Bohr, Heisenberg ve Dirac gibi) karşı cesurca savunmuş olmasından dolayı anılmaktadır.



1960'larda fizik sahasına olan ilginin azalması, savunma araştırmalarındaki rolünden dolayı fiziğin itibarının bozulması ve çoğu kişinin bu mesleğin uygulamalı bilimlere dogru kaydığını düşünmesi, bu durumdan hoşnut olmayan bir grup Kaliforniyalı fizikçinin nano ölçeklerde fizik biliminin uygulamasının derin ve mistik bazı gerçekleri su yüzüne çıkarabileceği olasılığını incelemeye yöneltir. Kendine Küçüklerin Fiziği Topluluğu ismini veren bir grup, Berkeley'de toplantılar yapmaya başlar. Grubun üyeleri, fizik biliminin, bir atomun neden bir başka atom ile aynı olduğunu açıklamayı hiçbir zaman başaramamış olduğuna işaret ederek Alfred Lord Tenneyson'un şiirini yeniden yorumlar:

> Küçük atom – fakat seni anlayabilseydim,
> Ne olduğunu, elektronlarınla ve her şeyinle, tümüyle
> Tanrı'nın ve insanın ne olduğunu anlayabilirdim.

Diğer üyeler ise mikro dünyayı, Doğu dinleri ile olan paralel yönlerini bulmak için inceler. Taoizmin kurucusu olan İ.Ö. 6. yüzyılın Çinli filozofu Lao Tsu, "Bütün zor şeylerin kökeni kolay olanda ve bütün önemli şeylerin kökeni ise küçük olandadır" demek suretiyle nano fiziği önceden haber vermemiş midir? Küçüklerin Fiziği Topluluğu'nun üyelerinden biri *Dans Eden Nano Ninjalar* isimli bir kitap yazar. Bilim insanları tarafından yavan içerikli olmak ve gevşek imgeler kullanmakla eleştirilen bu kitap, okurları fizik araştırmalarıyla aşina edip milyonlar satar ve ulusal kitap ödülünü kazanır.

Bu hayali dünya senaryosu gerçek dünyamıza ne kadar benziyor? Pek değil. Salt bilimsel bir bakış açısıyla bakacak olursak fizikçiler, dünyanın büyük bir bölümünü halen anlaşılması imkânsız olarak görürdü. Işığın doğası ve aynı türden madde parçacıklarının gerçek kimliği halen bir sır olarak kalırdı. Bir diğer muamma ise maddenin kararlılığı ile alakalıdır. Nesnelerin

Hooke yayları ile inşa edilmiş olmaları onların neden esnek değil de katı olduğu sorusunu beraberinde getirtirdi. Gördüğümüz üzere belirsizlik, kuantum teorisinde bir problem olmaktan ziyade kullanışlı bir ilkedir. Çünkü klasik fizikte esnek olmayan nesneler, kuantum teorisinde maddenin katı halini tamamen izah eder şekilde rijit olabiliyor. Yani kısacası kuantum mekaniği, dünyanın temelini izah eder. Yaşam ve yaşamın ortaya çıkışı gibi daha büyük ölçeklerdeki pek çok soru da sır olarak kalmaya devam ederdi. Kuantum mekaniği DNA molekülüne ait iki temel özelliği izah eder: Bu molekülün güçlü kararlılığını ve arada bir mutasyon geçirebilme özelliğini. DNA molekülünün belli bir parçasını yeniden düzenlemek için neden büyük miktar enerji gerektiğini açıklamak suretiyle DNA'nın canlıların yapısında son derece güçlü bir kararlılığa sahip olduğunu gösterir. Buna rağmen kuantum mekaniği, DNA'yı değiştirmek icin gereken enerjinin arada bir meydana gelebileceğini ve bu sayede değişimin veya mutasyonun uzun bir süreliğine kararlı halde kalmaya devam edebileceğini garanti eder. Dış şartlara cevap olarak bu şekilde oraya çıkan canlı türleri arasındaki çeşitlilik yaşamın gücünü meydana getirir. DNA molekülünün doğal anlamda bir kuantum nesnesi olduğu gerçeği başarısı için kritik öneme sahiptir. Hiçbir Newtonsal mekanizma bunu açıklayamazdı.

Teknolojik açıdan bakıldığında da yine bu hayali dünya gerçek dünyamıza kıyasla çok zayıf olurdu. Kuantum mekaniği dünyayı manipüle etme yeteneğimizi büyük ölçüde genişletmiştir. Çünkü dünyanın temel planını bilmek yeni tür şeyler geliştirmemize olanak sağlar. Bilimde iki kuantum devriminin yaşanmış olduğunu gördük. Ancak bunun yanında iki de kuantum teknoloji devrimi yaşanmıştır. Birincisinde kuantum teorisi, katı hal fiziği ile olan yakınlığı vasıtasıyla pratik kullanım alanları bulmuş ve transistörler, yarı iletkenler gibi ve de cep telefonları, iPad'ler gibi modern bilişim teknolojisi cihazlarının geliştirilmesini sağlamış olan yeni malzemeler üretme yeteneğimizi büyük ölçüde genişletmiştir.[1] Kuantum mekaniği ile beraber güçlü bilgisayar teknolojisi, kuantum mikro yapılar ile Newtonsal makro yapılar arasında bağlantı kurmayı ve halen gelişen bir alan olan kuantum malzemeleri ve kuantum cihazlarının keşfedilmesini mümkün kılmıştır. Birinci kuantum teknoloji devrimi kuantumun tuhaf olmayan yönlerinden faydalanmıştır. Henüz yeni başlamakta olan ikinci kuantum teknoloji devrimi ise süperpozisyon ve

1 Örnek için bkz. Lillian Hoddeson, "The Entry of the Quantum Theory of Solids into the Bell Telephone Laboratories, 025-40: A Case-Study of the Industrial Application of Fundamental Science", *Minerva*, 1980, s. 422-47.

dolanıklılık gibi kuantum mekaniğinin tuhaf olan yönlerini kuantum bilgisayarları ve kuantum kriptografisi gibi alanların geliştirilmesi için kullanmaya çalışmaktadır.

Beşeri Bilimler Enstitüsü'nde bize soru yönelten muhalif arkadaşımız kuantumun bizlere materyal dünyaya yönelik nasıl sağlam bir anlayış kazandırdığı gerçeğini değil fakat kendimizi daha iyi anlamaya yönelik nasıl bir katkısının olabileceği düşüncesini sorguluyordu. Yukarıda bahsini ettiğimiz hayali dünyamızdan beşeri bilimlerin etkilenmeden kalması mümkün olabilir miydi?

Cevabımız "hayır". Kuantumun sanatçılar, yazarlar ve felsefeciler üzerinde kendilerini Newtonsal yanlış kanılardan kurtarmaya yardım etmek şeklinde bir etkisinin olduğu bir noktaya kadar doğrudur. Bu noktadan baktığımızda kuantum mekaniği, felsefi gerçekler olduğunu düşündüğümüz bazı düşüncelerin tamamen yanlış olduğunu göstermekle negatif felsefi keşiflerin yapılmasını sağlamıştır. Einstein'ın söylediği gibi kuantum dünyasında gerçekliğin kokusu burnumuza farklı gelir. Ancak bu koku nihayetinde daha taze bir kokudur. Örneğin kuantum mekaniği, belli bir zaman ve mekân noktası olmaksızın şeyleri görüp tanımlayabilen Laplace'ın ideal bilgi düşüncesinden felsefenin kurtulmasına yardımcı olmuştur. Buna ek olarak felsefeyi, bileşik bilim vizyonundan, olaylara yönelik dar bir anlayıştan ve imkânsız bir nesnellik düşüncesinden de temizlemiştir. Ancak Newton mekaniği gibi kuantum mekaniği de, dünyaya ve kendimize ferahlatıcı yeni bir anlayışla bakmamıza yardımcı olmuştur. Kitap boyunca gösterdiğimiz gibi eski meselelerimize ve isteklerimize yeni bir gözle odaklanmamızı sağlayan imgeler sunmuştur ve neyi aramamız gerektiği ve neyi görmezden gelmemizin kabul edilebilir olduğu konusunda bize yön veren bir terminoloji ve bir dil kazandırmıştır. Atalarımızın dünyasından farklı olarak bizim dünyamız Updike'in tabiriyle "boşluklar, tutarsızlıklar, eğimler ve balonlar" ile doludur. Atalarımızdan farklı olarak bizler Dawkins'in tabiriyle "çok küçüklerin, çok büyüklerin ve çok hızlıların tuhaflıkları" ile Newtonsal anlayışlarla hazmedemeyeceğimiz yollarla baş etmek zorundayız. Sonuç olarak yazarlarımız ve şairlerimiz, yüzeyi Newton dünyasının düzgün geometrisi gibi olmak yerine daha ziyade tencerede kaynayan suyun yüzeyi gibi olan bir gerçeklikten söz etmek zorundadırlar. Bizler ve dünyamız, zannettiğimizden daha tuhafız ve bir asır önce fiziğin ıssız bir köşesinde doğmuş olan bir dil ve bir dizi imge bu gerçeği görmemize tuhaf bir şekilde yardımcı oldu. Bu imgelerden kaçının fiziğin dışına çıkıp diğer alanla-

ra ve hatta günlük dile geçtiğini gördük.[2] Bazı durumlarda bu geçiş, var olan geleneksel kelimelerin ve kavramların yetersiz kaldığı (daha fazlasını ifade etmek istediğimiz) deneyimlerimize yeni kelimeler ve kavramlar yüklemeye iten kopukluklardan gelen metaforik ihtiyaçlardan kaynaklanmıştır. Diğer durumlarda ise bu geçiş, bilimin kültürel otoritesinden ve onun derinliğinden ve temel oluşundan fayda elde etme amacı ile gerçekleşmiştir. Sezgilerimizi en iyi şekilde ifade eden doğru imgeye sahip olmanın yeri doldu-

2 Sınıf çalışmalarımız için bu terimleri ve imgeleri genelde aşağıdaki gibi bir tablo haline getiriyoruz.

Terim	Köken	Metafor olarak kullanımı
Kuantum (1900)	Kara cisim ışımasının açıklaması	Süreksizlik
Kuantum sıçraması (1913-14)	Süreksiz durum geçişleri	Herhangi bir şeyde meydana gelen büyük değişim.
Rastgelelik (1916-17)	Atomlarda ışığın salınması ve yutulması olayı	Kaos ve düzensizlikten gelen düzen
Dalga-parçacık düalitesi (1920'ler)	Kuantum olaylarının davranışı	Şizofreni
Belirsizlik ilkesi (1927)	$\Delta p \Delta q \geq \hbar/2$	Bir noktaya sıkıştırılamazlık, gözlemci etkisi, rastgelelik, özgür irade, bilincin gerçekliği etkilemesi, görselleştirilemezlik..
Tamamlayıcılık (1927)	Bir fenomene ait iki özelliğin (dalga veya parçacık gibi) gerekli fakat karşılıklı olarak birbirini hariç tutabilmesi	Bir fenomenin paradoks içeren veya tamamlanmamış olan davranışlar sergileyebilmesi veya gözlemcinin yaklaşımına göre farklı görünmesi.
Schrödinger'in kedisi (1935)	Dalga fonksiyonunun, gözlenene kadar bir şeyin belirsiz bir varlık durumu içinde olduğunu ima etmesi hakkında üretilmiş alaycı bir şaka. Kopenhag yorumunun realist bir eleştirisi	Belirsiz varlık durumu, yaşam ve ölüm veya kedilerin tuhaf davranışları hakkında üretilen ve bazen sadistik olabilen imge veya şakalar.
Paralel dünyalar (1957)	Kopenhag yorumuna karşı ortaya konmuş veya dalga fonksiyonunun çökmediği bir kuantum mekaniği yorumu. Bu dünyalar arasında etkileşim mümkün değildir.	Paralel dünyaların var olduğu ve aralarında seyahatin mümkün olduğu kavramsal bir düşünce (veya şarlatanların ve Şamanların vaat ettiği gerçeklik). "Keşke öbür türlü yapmış olsaydım".
Multievren (2004)	Kuantum dalgalanmalarının birbiri ile kesişmeyen ve enflasyon sayesinde büyük ölçülere ulaşan sayısız bebek evrenler meydana getirdiği sicim teorisinden gelen bir düşünce.	Evrenimizin, sonsuz sayıdaki evrenlerden sadece biri olması düşüncesi.

rulamaz. Kuantum mekaniği evrene karşı duyduğumuz hayranlığı yeniden alevlendirmemize yardımcı oldu. Bizlere kâinatın, İkinci Bölüm'de *New York Times*'tan yaptığımız alıntıda olduğu gibi, öngörülebilir şekilde hareket eden bir makine olmaktan ziyade içinde cereyan eden olayların perilerden daha kaprisli, Aladdin'in lambasından daha sihirli ve gizemlerinin ve güzelliklerinin ilhamını Planck, Einstein, Schrödinger ve Heisenberg'in beslediği su kuyularından alan yeni bir Lucretius'u bekleyen bir kâinat olduğunu gösterdi. Dünyanın eğimleri ve balonlarına duyarlı hale gelmemize yardımcı olmakla Updike'in "yeni hümanizm" olarak önerdiği yeni bakış açısının yaratılmasını sağladı.

Dokuzuncu Bölüm'de Heisenberg'in "Bilimdeki hemen her gelişmenin bedeli bir özveri ile ödenmiştir ve hemen her yeni entelektüel başarı için önceki kavramlar ve konumlar terk edilmek zorunda kalmıştır. Bu nedenle bilginin ve anlayışın gelişmesi, bilim insanlarının doğayı anlama iddialarının bir bakıma sürekli olarak azalmasına sebep olmuştur" sözüne atıfta bulunduk. Heisenberg'in bu sözüne katılmıyoruz. Bilim insanları ve mühendisler (ve bütün herkes) çok az şey terk etmek zorunda kalmıştır ve Newtonsal düşünceleri her gün başarıyla uygulamaktadır. Kuantum mekaniğinin icadı sadece özel durumlar için yeni düşünceler geliştirmek zorunda olduğumuz anlamına gelmiştir. Terk etmek zorunda kaldığımız sey, her ölçekte ve tüm alanlarda geçerli olan tek ve kapsamlı bir düşünce dizisinin var olduğu rüyasıdır. Newton ve kuantum dönemleri birbirlerine aittir ve biri olmadan diğeri de var olamaz. Aralarındaki etkileşim, muhalif ve dışlayıcı olmaktan ziyade verimli bir etkileşimdir.

Gerçekte Newton Dönemi ve Kuantum Dönemi pek çok açıdan birbirine görünüşte olduğundan daha benzerdir. Newton dünyası belirsizliğin ve öngörülemezliğin ne olduğunu bilir. Kuantum dünyası, dünyanın katiliğini hesaba katan son derece hassas matematiksel bir determinizm ile şekillenmiştir. Bu nedenle bilim insanları, 20. yüzyıla kadar kuantumsuz idare etmeyi başarmışlardır. Ancak buna rağmen bu iki dünyanın karakterleri son derece farklıdır. Newton dünyası, temeli olmadan havada asılı kalabilen yekpare bir bina gibidir. Kuantum dünyası ise sağlamca inşa edilmiş ve bir temele oturmuş, fakat rüzgârda yan yatabilen bir ağaç evi gibidir. Bundan daha da önemlisi bu iki dünya, üç temel felsefi soru için insanlara farklı cevaplar sunmaktadır; Neyi bilebiliriz? Nasıl yapmalıyız? Ne umabiliriz?

Kuantum dilini anlamak ve takdir etmek (meyvelüperi şeklinde onun hatalı kullanımlarını görmeyi de bilerek) günümüzde eğitimli insan olmanın

bir parçasıdır. Bu eğitim, hem fen hem de beşeri bilimlerin temellerini öğrenmeyi içerir. Böyle bir eğitim almak disiplinlerin arasındaki geleneksel sınırlarının aşılmasını gerektirir. Ancak modern dünyanın dolanıklı okur-yazarlığı da böyledir. Kuantum dönemi ile yüzleşmek 21. yüzyılın beşeri bilimleri için yeni bir altyapı gerektirmektedir.

Birinci Bölüm'de tarihçiler Betty Dobbs ve Margaret Jacob'un, Newton Dönemi'nin bizlere günümüzde modernlik diye tarif ettiğimiz ve çoğu Batılı ve Batılı olmayan insanın içinde yaşadığı materyal ve mental dünyayı sunduğu şeklindeki ifadeye atıfta bulunmuştuk.[3] Ancak bu dünya yavaş yavaş değişmektedir. Bir sonrasında neyin geleceğini tarif etmenin en dogru yolu nedir? Sıkça kullanılan "post modernlik" teriminden nefret ediyoruz. Bu terim çokça çekiştirilmiş ve pek çok kişi tarafından ona değişik anlamlar yüklenmiştir. Sekizinci Bölüm'de bahsini ettiğimiz Sokal'ın ünlü şakasında gördüğümüz gibi bu terimin bilim okur-yazarlığı olmayan hatta bilim karşıtı olan kişiler tarafından benimsenmesinden de hoşlanmıyoruz. Çünkü bilimin, bu Newton sonrası kültürel dunya ile iç içe olduğu açıktır. Bu gerçek, bu dünyayı anlamayı umut eden herkesin yüzleşmek zorunda olduğu bir gerçektir. Sınıfımızdaki öğrencilere soruyoruz; Newton Dönemi'nden sonra gelecek olanı tanımlayan doğru terim Kuantum Dönemi olabilir mi?

3 Dobbs ve Jacob, *Newton*, s. 123.

İsim Dizini

Abrikosov-Meissner etkisi 1
Achebe, Chinua 180
Her Şey Paramparça 180
Allbright, Daniel 97, 98
Kuantum Şiir Sanatı 97
Allen, H. S. 105, 124
Arden, Jon 221
Aristo 17
Armstrong, Neil 56
Ayckbourn, Alan 211

Bell, John 183-187, 193, 235, 236, 244
"Einstein-Podolsky-Rosen Paradoksu Hakkında" 185
Kuantum Mekaniğinde Gizli Değişkenler Problemi Hakkında (1987) 185
Bergeron, Harrison 78
Blake, William 11, 12, 23, 24
Newton 11, 12
Borges, J. L. 211
Yolları Çatallanan Bahçe (1941) 211
Babil Kütüphanesi 211
Braque, Georges 151
Bogart, Anne 124
Bohr, Niels 35, 37, 50-55, 60, 61, 66, 68, 69, 89, 91, 98, 99, 105, 108, 120, 121, 144, 150-159, 161-164, 169, 170, 172-176, 179, 180, 183, 184, 190, 191, 194-197, 205, 212, 230-232, 238, 244
atom modeli 50, 61, 91
"Atomların ve Moleküllerin Yapısı Hakkında" 54
"Kuantum Teorisinin Felsefi Temelleri" (1927) 152
Bose, Satyendra 80, 84-87, 92, 93
Bridgman, Percy 36, 101, 127-134, 190, 230
Modern Fiziğin Mantığı (1927) 128
Bronowski, Jacob 124
Brush, Stephen 67, 195

Callender, Craig 124
"Görülecek Bir Şey Yok: Belirsizlik Prensibinin Rütbesini Sökmek" (2013) 124
Campton, Arthur Holly 104, 132, 138, 139
Capra, Fritjof 233-235
Fiziğin Tao'su 234
Carroll, Lewis 211
Alice Harikalar Diyarında 211
Chamberlin, Neville 30
Clauser, John 233, 235
Coelho, Paulo 236
Cole, Teju 114, 115
Açık Şehir (2011) 114
Coleman, Sidney 234
Comfort, Alex 235
Gerçeklik ve Empati: Fizik, Akıl ve 21. Yüzyılda Bilim (1984) 235
Conrad, Joseph 79

Daston, Lorraine 237
Nesnellik 237
Dewey, John 132
Dostoyevski, Fyodor 79
Dyson, George 114
Turing'in Katedrali: Dijital Evrenin Kökenleri 114

Eddington, Arthur 59, 69, 70, 124-129, 131, 132, 134, 137, 139, 190
Fiziksel Dünyanın Doğası 69, 125, 127, 137
Edison, Thomas 42
Einstein, Albert 23, 30, 32-34, 36, 37-40, 46, 51, 68, 69, 74-76, 80, 84-87, 92-95, 104, 105, 108, 111, 116, 117, 121, 125, 128, 132, 151, 152, 165, 167, 170-180, 183, 185, 187, 190-

192, 194-196, 216, 230, 235, 241, 244, 247, 249
Bohr ve Einstein 121
Bose ve Einstein 93
Einstein yoğuşması 80, 93, 95
EPR makalesi 176, 178-180, 184, 186, 187, 190-192, 195
"Fiziksel Gerçekliğin Kuantum Mekaniksel Tanımı Tamamlanmış Bir Tanım Olarak Kabul Edilebilir mi?" 178, 180
"Kuantum Mekaniğinde Geçmiş ve Gelecek Bilgisi" 176
Schrödinger ve Einstein 132, 191, 249
Ellis, C. D. 105

Fermat, Pierre 65
Fleming, Ian 38
Teselli Kuantumu (1959) 38
Frost, Robert 211, 214
Gidilmemiş Yollar (1920) 211

Galileo 14, 172
Galison, Peter 237
Nesnellik 237
Gamow, George 50
Gardner, Martin 199, 236
Kuantum Tuhaflığı 199
Giacometti, Alberto 113
Gibs, Josiah Willard 82, 211
Glauber, Roy 90
Gleizes, Albert 151
Goldhaber, Alfred Scharff 4, 81, 164, 234
Gromley, Antony 63, 74
Kuantum Bulutları (2000) 64, 74, 97
Graham, Neill 215
Green, John 9
Gribbin, John 198, 199
Schrödinger'in Kedisini Arama Yolunda 199
Guerre, Martin 79

Hegel, G.W.F. 160, 238
Heidegger, Martin 138
Heisenberg, Werner 3, 4, 36, 40, 51, 66, 81, 92, 102, 106-111, 116, 119-125, 128, 132-136, 138-140, 143-145, 150, 152, 156, 158, 168, 169, 171-173, 179, 181, 190, 191, 193, 195-197, 204, 231, 232, 234, 244, 249
haritası 116
Matris mekaniği 106, 119, 125, 150, 169
Pauli ve Heisenberg 144
Kopenhag yorumu 169, 170, 183, 190, 195, 212, 213, 231, 232, 248
Horgan, John 225
Bilimin Sonu (1996) 225
Herr, Michael 136
Hessen, Boris 14, 70, 73

Jammer, Max 35, 38, 42, 45, 46, 53, 76, 103, 105, 111, 154, 159, 243
Kuantum Mekaniğinin Felsefesi 243
Jeans, James 34, 54, 55, 105, 132, 149
Gizemli Evren (1930) 132, 149
"Işıma ve Kuantum Teorisi Raporu" (1914) 54
Jefferson, Thomas 18
Jung, Carl 81

Kafka, Franz 79
Kidman, Nicole 210
Kieran, John 134
Kirchhoff, Gustav 32
Kolomb 25

Lande, Alfred 89
Lao Tsu 245
Laplace, Pierre-Simon 16, 23, 28, 65, 82, 247
Laws, Valerie 63, 64, 74
Leggett, Tony 206, 207
Leibniz, G.W. 26, 79
LeShan, Lawrence 160
Meydum, Mistik ve Fizikçi (1974) 160
Levine, Emily 122
Levithan, David 9, 10
Will Grayson, Will Grayson (2010) 9, 10, 189, 192, 195, 196, 202-204

Li, Jet 221
Lindley, David 66
Lindsay-Abaire, David 209
Linklater, Kristin 124
Lord Kelvin 16, 128

Machiavelli, Niccolo 15
Maxwell, James Clerk 28, 60, 66, 67, 76, 79, 82, 86, 92, 99, 103, 116, 117, 119, 144, 169, 172
  Maxwell'in cini 169
McCann, Colum 115
  Bırakın Dönsün Bu Büyük Dünya 115
McCormmach, Russel 181
  Bir Klasik Fizikçinin Gece Düşünceleri (1982) 181
Mesa, Juan 2
  kedi görüntüsü 2
Miller, Arthur 136, 151
  Başpiskoposun Tavanı 136
  Tesadüfen İyi 136
Millikan, Robert 36-39, 180
Misner, Charles W. 216
Monk, Ray 121
Munro, William 101
Murphy, Michael 234

Napolyon 58
Neumann, John von 177, 184, 185
  Kuantum Mekaniğinin Matematiksel Temelleri (1932) 177
Newton, Issac 4, 9-28, 30, 35, 39, 40, 47, 52, 54, 55, 65-67, 70, 73, 75, 79, 82, 91, 92, 98, 100, 101, 103, 106, 108, 112, 114, 119, 122, 126, 128-130, 133-135, 137, 140, 141, 150, 161, 163, 167, 169, 171, 178, 180, 230, 237, 244, 246, 247, 249, 250
  Doğa Felsefesinin Matematiksel Prensipleri (*Pricipia*, 1687) 11, 14, 15, 22, 25, 27
  Dönemi 9, 10, 12, 16, 17, 20-23, 26, 65, 130, 134, 137, 230, 238, 243, 244, 249, 250
  Dünya modeli 15, 22, 23, 26, 28, 30, 39, 65, 66, 82, 91, 98, 135, 140, 167, 247, 249
  kütle çekim yasası 11, 15, 17, 19, 26, 27, 32, 61, 130, 165, 175
  hareket yasaları 15, 167
Nye, Myra 101, 102

Obama, Barack 3, 135
Oppenheimer, J. Robert 155

Paalen, Wolfgang 137, 140
Pagels, Heinz 199
  Kozmik Kod 199
Pais, Abraham 54, 89, 110, 145, 155, 157, 241
Parsons, Charles 42
Pascal, Blaise 65
Pauli, Wolfgang 36, 80, 81, 83, 84, 86, 89-95, 110, 111, 142, 144, 145, 154, 156, 192
  dışlama ilkesi 80, 81, 83, 84, 89-94, 142
  Pauli ve Heisenberg 144
Peirce, Charles S. 68
Pesic, Peter 78-80, 88, 95
  Çift Görmek (2002) 78
Planck, Max 30-47, 52, 55, 60, 61, 68, 69, 73, 75, 76, 86, 92, 97, 100, 103, 108, 109, 112, 116, 117, 120, 144, 153, 155, 181, 190, 205, 233, 243, 244, 249
Philolaus 210
Picasso, Pablo 151
Podolsky, Boris 176, 178
Poincaré, Henri 34, 35, 55
  "Kuantum Hipotezi" (1912) 35

Reynolds, Malvina 77
  Küçük Kutular (1960) 77
Romney, Mitt 3
Rorty, Richard 18
Rosen, Nathan 177
Rubens, Heinrich 34, 43
Russell, Bertrand 55, 78, 132
Ruth, Babe 134

Rutherford, Ernest 34, 35, 50-54, 67, 68, 75, 98

Saha, Meghnad 85, 86
Sarandon, Susan 235
Sarfatti, Jack 233
Schiller, F .C. S. 101
Schrödinger, Erwin 9, 40, 51, 69, 106, 107, 110, 116-120, 125, 132, 143, 150, 154, 169, 171-173, 189-196, 200, 212, 215, 230, 241, 249
  dalga mekaniği 110, 119, 125, 150, 172
  diferansiyel denklem 107, 119, 172
  Schrödinger ve Einstein 196
  Schrödinger'in kedisi 3, 9, 10, 167, 189, 191, 192, 196, 198-203, 207, 215, 218, 240, 241, 244, 248
Sebold, W. G. 115
Shakespeare, William 79
  Hamlet 155, 240, 241
Sheckley, Robert 219

Tennyson, Alfred 245
Thomson, J. J. 19, 51, 105, 150
Tipler, Frank 225
Tolman, Richard 176
Tolstoy, Leo 203
  Anna Karenina 203
Townes, Charles 206
Tuck, Lily 200
  Seninle Mutluluk İçin Evlendim 200
Tuttle, Jon 136

Updike, John 29, 30, 58, 112-114, 123, 148, 247, 249
  İşte Maple Ailesi Geliyor (1976) 58

Volta, Alessandro 152
Voltaire 25
Voss-Andreae, Julian 97, 98
  Kuantum Adam 98

Webster, Arthur G. 100, 180

Zizek, Slavoj 141, 142, 160
Zurlo, Tony 65, 74
  Kuantum Kaos: Kozmik Kafa Karışıklığı ile Yaşamasını Öğrenmek 65, 74

Genel Dizin

Alman Standartlar Bürosu 31, 42, 43
Almanya 30, 31, 34, 35, 70-72, 115, 121, 177, 181, 228
  Hitler Almanyası 30
  Weimar Almanyası 70-73
Amerika 11, 18, 35, 78, 124, 157, 177, 230
  Amerikalı fizikçiler 35, 36, 50, 89, 90, 100
  Kanada ile olan sınırı 205
  kurucuları 18
Amerikan Bilim İlerleme Derneği 157
Amerikan Fizik Topluluğu 100
Amerikan Tiyatro dergisi 124
Anathem (2008) 3, 221, 222
antropik ilke 225
anti-semitizm 71
astronomi 13, 125
astroloji 149
astrofizik 210
ateizm 128, 129, 131, 134, 139
atom
  bombası 230, 231
  çekirdeği 37, 60, 89
  -da pozitif elektrik yükler 50, 52
  teorisi 16, 50, 101
  -un stabilizesi 52
  -un yapısı 51, 53, 55, 60
Aufbauprinzip (yapılanma ilkesi) 83
Ay 17, 98, 241, 242
ayırt edilemezlik 81-84, 86, 87, 90-95, 205

Başka Bir Dünya 3, 209-211, 223
belirsizlik 3, 4, 22, 23, 28, 47, 57, 64-66, 69, 70, 92, 93, 94, 106, 110-112, 121-130, 132-145, 150, 152, 155, 157, 158, 164, 167-169, 171, 172, 175-177, 179, 184, 186, 193, 194, 199, 201, 240, 243, 244, 246, 248, 249
belirsizlik ilkesi 3, 23, 47, 69, 70, 92, 94, 112, 121-126, 128-130, 132-142, 144, 145, 150, 152, 167-169, 171, 172, 175-177, 179, 184, 193, 243, 244, 248
bileşik bilim vizyonu 247
Bilim Felsefesi 90
bilim
  beşeri bilimler 1, 133, 137, 138, 140, 156, 243, 247, 250
  fizik bilimi 2, 10, 35, 38, 39, 45, 50, 51, 56, 58, 59, 66, 100, 101, 105, 110, 129, 133, 150, 163, 168, 169, 191, 225, 228, 233, 245
  -sel devrim 106, 107
Bilimin Şaire İhtiyacı Var 40
bozonlar 80, 88, 89, 92, 93
Breaking Bad 3
Brida (2008) 236, 237
Brüksel 34, 47, 121, 172
Buckyball 205
Bull Durham (*Boğa Takımı*) 235
Büyük Tasarım 25, 27, 28

Cambridge 19, 20, 51, 127, 227
Cambridge Üniversitesi 13, 20, 101
Campton etkisi 104, 105, 138
Carlsberg 51
Cavendish Laboratuvarı 51
CERN 183, 185
Clark Üniversitesi 100, 180
Columbia Üniversitesi 38, 233

dalga parçacık düalitesi 97, 167, 239, 244, 248
doğa yasaları 17, 22
dolanıklılık 174, 186, 195, 196, 198, 202, 247, 250

Ebell Kulübü 101, 104
Edinburgh Üniversitesi 125, 165
elektrik 27, 28, 31, 37, 42, 43, 45, 50, 52, 84, 92, 116, 117, 142, 145, 225
elektrodinamik 89

elektromanyetik
dalga 28, 84, 92, 116, 117
teorisi 116
elektron teorisi 51
elektronlar 37, 40, 46, 50, 51-56, 60, 61, 68, 69, 75, 81, 83, 84, 86-93, 95, 103, 104, 108, 110, 117-120, 126, 130, 131, 133, 142, 151, 165, 169, 171, 173, 179, 187, 190, 192, 205, 207, 215, 225, 236, 237, 239, 245
enerji 2, 4, 18, 31-34, 37-39, 42-47, 50, 52-55, 60, 61, 67-69, 75, 83, 87, 89, 93, 94, 97, 100, 101, 103-106, 116-120, 142, 147, 168-170, 175, 181, 186, 190, 205, 206, 246
kinetik enerji 52, 142
-nin korunumu 18, 104, 105, 120, 170
-nin sonlu paketler hali 2
yayma 37, 52, 67
yutma 43, 46, 53, 75
eşcinsel özgürlük hareketi 6
elementler 54, 67, 81, 89, 94, 169
Eski Yunanlılar 79
evrenin genişlemesi 226

faz uzayı 47, 52, 102, 114, 144
felsefe 1, 2, 4, 6, 12, 13, 18, 19, 21, 23, 28, 40, 59, 68, 70, 72-74, 78, 79, 86, 90, 91, 101, 111, 123-125, 128, 130, 132, 133, 140, 141, 145, 147, 150, 154, 155, 160, 163, 164, 183, 184, 196, 198, 228, 230 231, 234, 236, 237, 239-241, 243, 247
Felsefe Dergisi 86
felsefe taşı 13
fenomenoloji 238, 239
fermiyonlar 80, 83, 88, 92-94
fikir deneyi 9, 144, 169, 175, 176, 187, 192
fizik
atom fiziği 37, 71, 73, 130, 138, 145, 155, 157, 158, 164, 169
klasik fizik 22, 33, 35-37, 45, 46, 60, 66, 117, 125, 142, 144, 152, 163, 164, 181, 187, 198, 205, 206, 246
kuantum fiziği 6, 9, 36, 49, 63, 66, 70-72, 75, 76, 81, 92, 97-99, 107, 122, 126, 130, 139, 142, 148, 154, 158-160, 202, 232-235
dil ve imgeler 74
insan davranışı 1, 135
flogiston 244
foton 33, 46, 53, 68, 75, 76, 83, 84, 86, 92, 94, 104, 116, 117, 120, 165, 174, 175, 186
fotoelektrik olayı 33, 37, 39, 46, 68, 75, 105, 116
Fysiks Grubu 230, 232-236

gaz 26, 66, 67, 86, 93, 110
-ların davranışı 28
teorisi 192
geometri 30, 216, 247
Gifford Seminerleri 125, 127
görselleştirilebilirlik 108, 110, 145
görselleştirilemezlik 110, 248
gözlemci 17, 72, 130, 133, 136, 141, 151, 153, 156, 158, 163, 164, 169, 214, 237, 238, 248
etkisi 133, 135, 248

hareket
Brownian hareket 67
hareket yasaları 15, 167
parçacık hareketi teorisi 165
Harper's 127, 129, 230
Harvard Üniversitesi 90, 97, 101, 127, 234
helyum 83, 93, 95, 206
Hıristiyanlık 99, 139, 202
hız 19, 20, 25, 26, 28, 35, 42, 43, 52, 55, 56, 58, 60, 61, 82, 87, 92, 104, 113, 117, 118, 122, 125, 130, 131, 133, 142, 153, 168, 169, 172, 175, 181, 185-187, 199, 210, 226, 228, 231, 235, 247
Hook yasası 27
homojen 16, 22, 82

ışık 1, 11, 28, 31, 33, 38, 40, 42, 44, 46,

53, 57, 59, 63, 69, 75, 101, 103, 116, 117, 119, 172, 181, 186, 187, 206, 241
hızı 117, 172, 186, 187
spektrum 11, 32, 42, 50, 61, 69, 163

İngiliz Bilimsel İlerleme Toplumu 102
İngiliz Kilisesi 99
İnsanın Yükselişi 124

jeoloji 28, 113

K-tabakası 89
Kalkulus 13, 26
Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü 11, 101
Kaliforniya Üniversitesi 124
karbondioksit 207, 241
Kennedy suikastı 29, 30, 185
Kepler yasası 60
Kiel 30
kuanta 5, 33, 38, 46, 69, 86, 88, 99, 100, 103, 104, 106, 147, 206
Kuantum dönemi
Kuantum dönemi dersi 1
Kuantum Fiziği Tarihinin Arşivi 70
kuantum etkileri 24, 38, 45, 142, 197, 235
kuantum eylemi prensibi 52
kuantum mekaniği 2-7, 9, 10, 22-24, 64, 70, 72, 73, 78, 86, 91-95, 100, 101, 107, 110, 113, 116, 120, 122, 124-126, 128-130, 132, 135, 136, 138-142, 152-157, 161, 164, 165, 169, 170-174, 176-180, 183-186, 189, 190-196, 198, 201, 204, 206, 212-214, 216, 220, 225, 227, 228, 230-237, 239, 242, 243, 246-249
gizli değişkenler 184, 185, 212, 232
yorumu 248
superpoze 1, 118, 197, 214, 239, 240
ölçme problemi 198
kuantum sıçramaları 49, 50, 55, 56, 59-61, 74, 133, 158, 159, 199, 244, 248
kuantum teorisi 22, 34-39, 47, 51, 54, 55, 68, 70, 72, 74, 78, 80, 82, 89-91, 100-102, 103, 107, 108, 112, 115, 121, 123, 126, 128, 129, 136, 138, 142, 151-154, 157, 163, 167, 171, 172, 174, 177, 178, 180, 184, 185, 228, 234-236, 244, 246
Kuzey Sanatları 63
kütle çekimi 11, 15, 17, 19, 26, 27, 32, 61, 130, 165, 175

Lagrange çarpanı metodu 216
Lucerne gölü 90
Lambda Corporation 216
Lawrence Berkeley Laboratuvarı 233, 234
Londra 13, 54, 63, 64, 221
Los Angeles Times 100, 101
Lucretius 40, 249

Methodist Reviewer 138, 139
Millennium parkı 63
molekül teorisi 33
momentum 22, 23, 25, 26, 37, 47, 60, 99, 103, 104, 106, 108, 109, 117-119, 122, 123, 126, 130, 135, 142, 144, 164, 170, 175, 179, 186, 187, 191, 205
mu-mezonları 91
multievren 211, 221, 222, 225, 226, 248
Münih Üniversitesi 107
müzik 2, 18, 86, 107, 114, 180, 198
Mistisizm 7, 112, 126, 160, 187, 198, 222, 228, 230, 234-237

Naziler 30, 31, 177, 190
neden-sonuç ilişkisi 40, 129, 131, 134, 153, 167
nedensellik 4, 16, 19, 21-23, 67, 68, 72, 73, 76, 92, 130, 133, 139, 145, 153, 156, 158, 170-172, 176, 180, 194, 196, 212, 216, 230, 242, 244
negatif yüklü parçacıklar 51
nesnellik 4, 23, 73, 150, 163, 164, 236-239, 242, 247
Newton Dönemi: Issac Newton ve Modern Kültürün Ortaya Çıkışı 10
New Scientist 147, 205
New York Modern Sanatlar Müzesi 221
New York Times 3, 40, 55, 70, 102, 124, 132-134, 157, 158, 176, 177, 224, 249
New York Üniversitesi 141, 156
New York Yankees 134

nihilizm 219
nitrojen 1
Nobel Ödülü 33, 39, 43, 81, 89, 90, 100, 104, 107, 110, 127, 138, 143, 157, 206
numeroloji 149

Odise 79
Oedipus Rex 141
Okam'ın usturası ilkesi 217
operasyonalizm 128, 130
optik 13, 22
  kırılma 19
Oxford İngilizce Sözlüğü 56
Oxford Üniversitesi

paralel dünyalar 3, 209-211, 213, 215-217, 219, 221-225, 244, 248
paralel evrenler 3, 167, 210, 211, 221
parapsikoloji 81, 236
parçacıklar 4, 6, 23, 29, 46, 51, 52, 66, 67, 75, 80, 83, 84, 86, 88, 91-95, 97-99, 103-107, 109, 111, 113, 116-119, 125, 133, 135-137, 142, 150, 151, 153, 156, 160, 161, 164, 165, 167, 170, 173, 176, 179, 186, 187, 192, 202, 206-208, 217, 220, 225, 236, 239, 243-245, 248
periyodik tablo 89, 90
Physical Review 176, 180, 185, 191

rastgelelik 23, 63-66, 68, 75, 76, 111, 142, 167, 228, 248
Rorşak testi 7, 58
Royal Caribbean 49
rölativite teorisi 22, 35, 36, 39, 68, 69, 81, 86, 90, 100-102, 128, 165, 172, 175
Rutger's 226
Rydberg sabiti 53

sanat
  Newton döneminde sanat 12, 23, 137
  sanat ve bilim ilişkisi 7, 11, 12, 21, 23, 40, 49, 59, 63, 74, 98, 123, 137, 138, 140, 141, 151, 159, 160, 243, 247
simya 13
Sinclair QL 49
Soğuk Savaş 216, 231
Solvay Konferansı 34, 35, 47, 52, 121, 172, 174, 185
sonsuza uzanma 217
süperpozisyon 10, 186, 191, 198, 200, 206-208, 213-215, 244, 246

şans eseri 58, 124, 126, 128
Şikago Üniversitesi 36
şizofreni 1, 97-99, 103, 150, 167, 217, 248

tamamlayıcılık 3, 57, 97, 137, 147, 149-161, 163-165, 167, 172, 230, 238, 244, 248
Tanrı inancı 18
teleskop 11, 163, 164, 194
terör 12, 15
teoloji 18
termodinamik 28, 31, 42, 43, 46, 66-68, 75, 86, 168, 169, 173, 193, 244
  termodinamiğin üç yasası 168
Thames Nehri 63, 64, 74
titreşen birimler 46, 69
toryum oksit 67
Times of India 100
Tom Teleskop 11

ultraviyole faciası 47
uranyum 67
uzay zaman kavramı 4, 108, 110

Vahiyler Kitabı 13
veba salgını 13
Viyana Üniversitesi 233
Vietnam Savaşı 3, 136, 228

yarı iletkenler 246
yer değiştirme kuralı 109, 119, 123
yörünge 11, 20, 37, 50, 52-55, 60, 69, 89, 91, 92, 108, 119, 142, 173, 176, 205

zaman ve mekân 16, 19, 22, 24, 29, 90, 99, 103, 111, 128, 153, 169, 176, 187, 216, 230, 247

Kurulduğu günden bu yana daha çok sosyal bilimler alanında, tarihten ekonomiye siyaset biliminden uluslararası ilişkilere, sosyolojiden psikolojiye, sanata, edebiyat araştırmalarına uzanan geniş bir çerçeve içinde telif ve çeviri eserler yayımlayan yayınevimiz; bundan sonra fen ve doğa bilimleri, teknoloji, mühendislik, popüler bilim vb. alanında da önemli eserleri yayın dünyamıza kazandıracaktır.

1900'lerin başlarında fizik biliminin uzak bir köşesinde doğmuş olan ve enerjinin sonsuz küçüğe kadar bölünebilen büyüklükler yerine sonlu büyüklükte paketler halinde var olduğu düşüncesini ortaya atan kuantum teorisi pek çok zengin metaforu popüler düşünce dünyamıza kazandırmıştır.

Kuantum dili ve imgeleri günümüzde sonsuz bir foton akımı misali bizleri bombardımana tutar. Multievrenler, kuantum sıçramaları, paralel evrenler belirsizlik ilkesi ve Schrödinger'in kedisi gibi terimler, her yeni nesil sanatçı ve yazar tarafından karikatürlerde, filmlerde, kahve fincanlarında, tişörtlerin üzerinde, romanlarda ve felsefede yeniden keşfedilmektedir.

Bir kuantum sıçraması büyük müdür yoksa küçük müdür? Belirsizlik ilkesi ne kadar belirsizdir? Üstümüze yağan bu kuantum terimleri sadece gösteriş amaçlı üretilen saçma ifadeler midir yoksa düşünce dünyamızda temel bir değişimin işaretçisi midir?

Konusunda öncü olan bu kitapta Robert P. Crease ve Alfred Scharff Goldhaber hepsinde bir gerçeklik payı olduğunu söylüyor. Biri fizikçi ve diğeri felsefeci olan yazarlar sahip oldukları birikimden ve altı yılı aşkın zamandır birlikte verdikleri derslerden istifade ederek kuantumun, bilimsel bir teoriden toplumsal bir anlayışa giden engebeli yolunu ortaya çıkarıyor. Yazarlar, öğrencileri ile beraber, toplumsal tartışmalarda kuantum hakkında atılmış yanlış adımları, yanlış anlaşılmaları, üretilmiş mizahı ve anlamsızlıkları keşfediyor.

Kuantum Dönemi, sanattan edebiyata ve John Updike ve Foster Wallace'ın yorumlarına kadar pek çok alandaki etkilerini ve dışavurumlarını inceliyor. Yazarlar kuantum teorisinin bilgi, metafor, entelektüel alış-veriş ve çağdaş dünya üzerindeki sonuçlarını açığa çıkarıyor. Kuantum dilini ve imgelerini anlamak ve takdir etmek ve onun hatalı kullanımlarını görmeyi bilmek, günümüzde eğitimli insan olmanın bir parçasıdır.

"[Kuantum Dönemi] *kuantum teorisinin en büyüleyici kavramlarına yönelik yaşam ve yaşam sonrası etkileyici bir yolculuk.*"

David Kaiser, MIT

"*Keyif verici ve sade...* Kuantum Dönemi, *kuantum teorisinin kavramlarına iyi bir giriş görevi görüyor ve insanlığın kültürüyle bilimin nasıl birbirlerine bağlı olduğunu anlamaya yardımcı oluyor.*"

Thiago Hartz, *Physics Today*

Kapak: ATLAS Deneyi © 2015 CERN.

ISBN: 978-605-399-458-9

www.bilgiyay.com

15.YIL

İstanbul Bilgi Üniversitesi Yayınları

Bilim - Teknoloji